# Архимед

Сергей Житомирский

SHOUT
SHARE
IT

- Житомирский Сергей

# Житомирский Сергей Архимед

Сергей Житомирский

Архимед

Введение

Сохранившиеся труды Архимеда, в основном математические, составляют целый том. Достижения ученого в области математики огромны. Он решил задачи об определении объема цилиндра и шара, объемов частей параболоидов вращения, был основоположником изучения спиралей, решил проблему квадратуры круга, вычислив довольно узкие границы, между которыми заключено число я. Архимед ввел в математику физическую задачу об определении положения центра тяжести плоских и пространственных фигур и для многих случаев решил ее. Он применил в геометрии метод "мысленного взвешивания", значительно развил предложенный греческим ученым Евдоксом "метод исчерпывания", позволивший исследовать свойства кривых второго порядка.

Однако научное творчество Архимеда не ограничено математикой. Он основоположник статики, гидростатики и математической физики вообще, выдающийся астроном и замечательный инженер. Именно этим сторонам деятельности великого ученого древности и посвящена настоящая книга.

Из трудов Архимеда в указанных областях сохранилось очень мало. В III в. н.э. греческий математик Папп Александрийский писал: "Архимед составил только одно механическое сочинение, а именно об устройстве небесного глобуса, не найдя из других предметов ничего, достойного сочинения". Видимо, Архимед не описывал и своих физических опытов, которые несомненно производил. Мало сведений осталось и о его астрономических работах.

Тем не менее многие результаты, полученные Архимедом в области механики и астрономии, восстановлены благодаря трудам исследователей его творчества.

Образ ученого, видевшего в математике не одну лишь игру возвышенного ума, а средство познания физических законов и орудие для решения сложных инженерных задач, близок нашему времени.

Свидетельства истории

Глава 1. Архимед в произведениях античных авторов

Хотя слава Архимеда никогда не прекращалась, о жизни

ученого сохранилось очень мало сведений.

Известно, что он активно участвовал в обороне родных ему Сиракуз и созданные им машины сделали город неприступным; что он погиб при взятии города римлянами, происшедшего в результате предательства. Это случилось в 212 г. до н.э., и это единственная надежная дата в биографии Архимеда.

Византийский хронист конца XII в. Цеци, рассказывая о захвате Сиракуз, добавляет, что Архимеду в это время было около 75 лет. Отсюда вычисляется дата рождения ученого - 287 г. до н.э. Правда, другому свидетельству Цеци о применении Архимедом сжигающих зеркал - обычно не доверяют.

Сам Архимед в одной из работ о результатах определения расстояний до Луны и Солнца приводит значения этих расстояний, которые получил его отец, и называет имя отца - Фидий. Отсюда можно заключить, что отец ученого был астрономом.

Земляк Архимеда, историк I в. до н.э. Диодор Сицилийский пишет о водоподъемных винтах, изобретенных Архимедом Сиракузским во время его пребывания в Египте. О том, что Архимед учился математике в Александрии и связи с тамошними учеными не порывал, говорит также то, что большинство работ Архимеда написано в виде посланий александрийским математикам.

Греческий писатель I в. н.э. Плутарх вскользь упоминает, что Архимед был родственником царя Сиракуз Гиерона. Вот, собственно, и все факты.

Каким же был Архимед?

Для нашего времени он прежде всего математик, поскольку сохранившееся наследие Архимеда составляют математические труды. Такому же представлению о нем способствует и рассказ Плутарха, рисующий Архимеда отрешенным от мира теоретиком. Но в более ранней характеристике, данной Архимеду греческим историком Полибием (201...120 г. до н.э.), ученый представлен лишь как военный инженер. Полибий, описывая осаду Сиракуз, подробно рассказывает об архимедовых машинах, которые по его свидетельству были сооружены в мирное время задолго до нападения римлян.

Столетием позже римский писатель Тит Ливий, который в описании осады Сиракуз использует сочинение Полибия, характеризует ученого как астронома, единственного в своем роде наблюдателя неба и звезд, и еще более удивительного конструктора военных машин и сооружений. Такая характеристика может указывать на то, что Архимед занимался астрономией в последние годы жизни и остался в памяти близких

потомков астрономом. Но не исключено, что причиной этого является архимедов небесный глобус, вывезенный римлянами из Сиракуз в качестве трофея.

Диодор Сицилийский, о котором говорилось ранее, упоминает об Архимеде прежде всего как об изобретателе. По поводу архимедовых водоподъемных винтов он замечает: "Но не только поэтому нужно удивляться таланту Архимеда. Мы обязаны ему еще многими другими, более замечательными изобретениями, известными всему миру. Мы опишем их с тщательностью и в подробностях, когда дойдем до описания эпохи Архимеда".

К сожалению, труд Диодора до нас дошел не полностью, и, о каких изобретениях там говорится, можно только гадать.

Об Архимеде упоминает знаменитый римский оратор и политик Цицерон, разыскавший могилу Архимеда, когда в 76 г. до н.э. был в Сицилии. Им был найден могильный обелиск с геометрическим чертежом цилиндра с вписанным в него шаром. За 136 лет, прошедших со времени гибели Архимеда, его могила была забыта и заброшена.

Неоднократно Архимед упоминается в знаменитом сочинении по архитектуре римского инженера Марка Витрувия Поллиона, жившего также в I в. до н.э. Он пишет об Архимеде как о знатоке течения воды в водопроводах, авторе руководств по строительной механике (не дошедших до нас), ссылается на известную работу Архимеда "О плавающих телах".

Говоря об образе идеального архитектора, Витрувий в своей книге "Об архитектуре" пишет: "Но такие гении очень редки; мало людей вроде Аристарха Самосского, Филолая и Архита Тарентского, Аполлония Пергского, Эратосфена Киренского, Архимеда и Скопина Сиракузского, которые сумели с помощью расчетов и знания тайн природы сделать большие открытия в механике и гномонике (наука о солнечных часах) и оставили потомству об этом научные труды".

Здесь Архимед назван в ряду крупнейших астрономов и математиков.

Наконец, в I в. н.э. греческий писатель Плутарх в биографии римского полководца Марцелла, взявшего Сиракузы, посвятил несколько страниц Архимеду. Этим, собственно, и исчерпываются дошедшие до нас свидетельства античных авторов об Архимеде.

Путь ученого

И все же мы можем сказать, что сейчас творческая биография Архимеда в основном известна (в значительной мере благодаря выполненной советским ученым И.Н. Веселовским периодизации работ Архимеда).

Наиболее ранними из сохранившихся сочинений Архимеда оказались четыре его геометрические работы, написанные в виде посланий в Александрию некоему Досифею, ученику математика и астронома Конона, с которым Архимед был дружен. Первая из них - "Квадратура (площадь) параболы" - начинается словами: "Архимед Досифею желает благоденствия! Узнавши о смерти Конона, делавшего все для нас из дружбы, и о том, что ты был близок к Конону и сведущ в геометрии, мы очень опечалились о покойном и как о друге и как о выдающемся математике. Поэтому мы решили написать тебе, подобно тому как обычно писали Конону, и послать некоторые геометрические теоремы..."

В следующем знаменитом сочинении - "О шаре и цилиндре", где решаются задачи определения объемов и поверхностей этих фигур, - имеются ссылки на предыдущее послание. Досифею Архимед послал также работы "О спиралях" и "О коноидах и сфероидах".

Далее следует группа произведений, связанная с приложением математики к физическим проблемам. Это сочинения "О равновесии плоских фигур", "Послание Эратосфену о механических теоремах" и, наконец, две книги "О плавающих телах". В этих сочинениях Архимед пользуется теоремами, полученными в предыдущих геометрических работах.

К более позднему времени относятся сочинения Архимеда "Измерение круга", содержащее вычисление отношения длины окружности к диаметру (числа ?) и работа "Псаммит" ("Исчисление песка"), в которой Архимед демонстрирует свой способ записи очень больших чисел.

Установить наиболее раннюю дату начала занятий Архимеда математикой И.Н. Веселовскому помог следующий исторический рассказ. Когда египетский царь Птолемей III Эврегет уходил в поход на Антиохию, его жена Береника принесла свои волосы в дар богам, чтобы помочь благополучному возвращению мужа. После окончания похода выяснилось, что волосы из храма пропали. По античным представлениям, человек, завладевший чужими волосами, мог жестоко вредить их владельцу с помощью магических обрядов. Чтобы уладить дело, работавший в это время в Александрийском музее астроном Конон с Самоса объявил, что обнаружил на небе новую группу звезд, которые и есть вознесенные на небеса волосы царицы. Так появилось название созвездия, которое и в наши дни указывается на звездных картах, - "Волосы Вероники". Но какое отношение эта история имеет к Архимеду? Дело в том, что дата похода Эврегета (3-я Сирийская война) известна - это 246 г. до н.э. Таким образом, рассказ о волосах Береники удостоверяет, что сочинение Архимеда "О

квадратуре параболы" (самое раннее из дошедших до нас) было послано Досифею, во всяком случае, позже этой даты. Поскольку же Архимед родился в 287 г., то легко подсчитать, что к моменту написания этой работы ему было больше сорока лет!

Значит, свои основные математические открытия Архимед сделал в зрелом возрасте. Это удивительно, так как обычно математические способности проявляются в юности. Суть геометрических работ Архимеда состоит в развитии метода исчерпывания, введенного предшественником Евклида, великим математиком Евдоксом Книдским. Наиболее важным своим достижением в геометрии сам Архимед считал работу "О шаре и цилиндре" (недаром чертеж шара, вписанного в цилиндр, был помещен на его надгробии). В этом сочинении Архимед доказал, что объем шара, вписанного в цилиндр, в полтора раза меньше объема этого цилиндра и что так же относятся между собой поверхности этих фигур. Во вступлении к работе "О шаре и цилиндре" он писал: "Конечно, эти свойства были и раньше по самой природе присущи упомянутым фигурам, но они все же оставались неизвестными тем, кто до нас занимался геометрией, и никому из них не пришло на ум, что все эти фигуры являются соизмеримыми друг с другом; поэтому я не поколебался бы сравнить эти теоремы с теми, которые были открыты другими геометрами, и, в частности, наиболее выдающимися теоремами, которые были установлены для тел Евдоксом".

Так что, вероятнее всего, Архимед был в обучении у Конона уже зрелым, сложившимся человеком. Но в какой области применял свои творческие силы Архимед до встречи с Кононом и увлечения геометрией? Есть достаточно оснований считать, что Архимед начинал свою деятельность на поприще практической механики в качестве военного инженера.

Творческий путь Архимеда рисуется нам следующим образом.

Архимед начал свою деятельность как инженер, создатель военных машин и фортификатор, реконструирующий укрепления Сиракуз. В этот период он пишет ряд практических работ по строительному делу (до нас дошли лишь отрывки из этих работ), причем основными теоретическими достижениями ученого в этот период были введение понятия центра тяжести и формулировка закона рычага.

Тяга к углублению теоретических знаний приводит Архимеда в Александрию, тогдашний научный центр, где он встречается с Кононом и начинает пробовать свои силы в геометрии. Вернувшись в Сиракузы, он в течение 5...10 лет делает свои выдающиеся геометрические открытия, изложенные в посланиях

Досифею. В следующий период своей деятельности ученый был занят решением задач математической физики (основы гидростатики, условия устойчивости плавающих тел), в которой Архимед был пионером. Вероятнее всего, в этот период он занимается и оптикой (написанная Архимедом работа "Катоптрика" до нас не дошла). Содержание последнего периода научной деятельности Архимеда составляют вычислительно-астрономические работы. Все это время Архимед, видимо, не оставляет инженерной деятельности, применяя на практике выводы своих теоретических исследований.

Сиракузы

Сиракузы были основаны коринфянами в VIII в. до н.э. Благодаря плодородию почвы, а также удобным гаваням этот город вскоре прославился исключительным богатством.

Сиракузы были одним из крупнейших городов эллинистического мира. История родины Архимеда не была мирной. Плодородная Сицилия долгое время являлась яблоком раздора между окрестными народами. В 415...413 гг. до н.э. Сиракузы выдержали тяжелую войну с Афинами, стремившимися завладеть островом, и одержали победу. Но уже в 409 г. до н.э. в Сицилии высадилось карфагенское войско, которое с помощью осадных машин - тогда еще новинки военной техники - начало подчинять сицилийские города. Обеспокоенный успехами карфагенян, сиракузский правитель Дионисий Старший начал в 405 г. до н.э. готовиться к войне. Он пригласил в Сиракузы техников и мастеров, собрав их со всей Сицилии, Италии и Греции, и поставил перед ними задачу создания военных машин. Тогда в Сиракузах были построены невиданные прежде корабли с четырьмя и пятью ярусами весел, сконструированы мощные метательные машины. С помощью этого оружия Дионисию удалось остановить карфагенян, а изобретенные по его заказу машины быстро распространились и стали играть важную роль в армиях большинства государств Средиземноморья. Технические традиции в Сиракузах сохранились, и не подлежит сомнению, что в области практической механики Архимед в юности мог иметь достойных учителей, а в зрелые годы - умелых и дельных помощников.

В эпоху, предшествующую Архимеду, произошло возвышение Сиракуз при правлении Агафокла (316...289 г. до н.э.). Этот талантливый полководец и политик, выходец из простого народа, объединил под властью Сиракуз почти всю Сицилию, вел успешные войны с Карфагеном, пытался подчинить Южную Италию (правда, после его смерти Карфаген взял реванш и влияние Сиракуз уменьшилось).

Наиболее красочное из уцелевших описаний Сиракуз принадлежит Цицерону, хотя он описывает город, уже более сотни лет находившийся под властью Рима и сохранивший лишь малую долю былого великолепия: "Сиракузы - самый большой из греческих городов и самый прекрасный в мире; оно на самом деле так. Их высокое местоположение не только содействует их безопасности, но имеет последствием и то, что город со всех сторон, и с суши, и с моря, представляет очень красивое зрелище. Его гавани находятся внутри городской черты и отчасти окружены зданиями; открываясь в двух противоположных направлениях, они сливаются своими внутренними углами, вследствие чего та часть города, которая называется Островом, отделена узким проливом от материка, с которым ее соединяет мост.

Город так велик, что его делят на четыре огромных города...

Один из них - Остров (о котором я только что говорил), будучи окружен с двух сторон гаванями, вдается в море при входе в каждую из гаваней. На нем находится прежний дворец царя Гиерона, а также множество храмов, из которых выделяются в сравнении с другими два: один - Дианы (Артемиды), другой - Минервы (Афины)... На крайней оконечности Острова есть источник пресной воды Аретуса, огромной величины, кишащий рыбой; морские волны затопили бы его совершенно, если бы он не был отделен от моря каменной дамбой.

Второй город в Сиракузах называется Ахрадиной; здесь находится обширная площадь, прекрасные портики, великолепный пританей (правительственное здание), величественное здание курии (совета) и храм Юпитера Олимпийского (Зевса) - образцовое произведение искусства; остальные части города, пересекаемые одной широкой и длинной улицей и множеством поперечных, застроены частными зданиями.

Третий город называется Тиха, так как там был древний храм Фортуны (Тихи); в нем огромный гимнассий (стадион) и множество храмов. Эта часть города застроена и заселена более других.

Четвертый город - Неаполь (новый город) назван так потому, что был выстроен позже других. В самой возвышенной его части находится громадных размеров театр; кроме того, два прекрасных храма, один - Цереры (Деметры), другой - Прозерпины (Персефоны) и колоссальная, чудной работы статуя Аполлона (Теменита)".

Огромное пространство, занимаемое городом, было обнесено стенами с большим количеством башен. Стены составляли

треугольник со сторонами длиной около 6 км. Особая внутренняя стена отделяла от остального города приморские районы - Ахрадину и Остров, а на холме, в дальнем от моря углу треугольника стен, возвышалась еще одна внутренняя крепость - Эвриал. Такими были Сиракузы.

В 270 г. до н.э. к власти в городе пришел Гиерон. По свидетельству Плутарха, Архимед, которому в это время было около 10 лет, был родственником Гиерона. Как и Агофокл, Гиерон выдвинулся из простых солдат. Судя по всему, это был человек выдающихся способностей. Но времена изменились, о возвращении Сиракузам былого величия не приходилось и мечтать. Два могучих соперника - Рим и Карфаген - претендовали на власть над Сицилией.

В 264 г. до н.э. началась 1-я Пуническая война. Непосредственным поводом для нее оказалась победа Гиерона над мамертинцами, наемниками-кампанцами, захватившими власть в Мессине. Часть разбитых мамертинцев призвала на помощь карфагенян, другая - римлян. Гиерон в битве с римлянами потерпел крупное поражение, дело дошло до осады Сиракуз, но ему ценой выплаты Риму большой контрибуции удалось выйти из войны. После этого для Сиракуз наступил мирный период истории, который длился около 50 лет. Но Гиерон, готовый к любым неожиданностям, уделял большое внимание укреплению города, и далеко не последнюю роль в этих работах играл Архимед.

О том, что двор Гиерона был достаточно просвещенным, говорит факт посвящения Архимедом своей работы "Псаммит" сыну и соправителю Гиерона Гелону. Гиерон умер в 215 г. до н.э., на четыре года пережив своего сына. За три года до его смерти Ганнибал перешел через Альпы и началась 2-я Пуническая война. Но пока Гиерон был жив, Сиракузам удавалось держаться от нее в стороне.

Полибий в своей "Всеобщей истории" так характеризует Гиерона: "Гиерон сам приобрел власть, не имея ни богатства, ни славы, ни других даров судьбы. За всю свою власть он никого не убил, не изгнал, не обидел, а властвовал 54 года...".

Плутарх об Архимеде

Мы уже говорили, что самое подробное из сохранившихся сообщений об Архимеде - это отрывок из биографии завоевателя Сиракуз, римского полководца Марцелла, написанной Плутархом. Нарисованный греческим писателем образ относится скорее к некоему идеализированному ученому-теоретику, чем к Архимеду.

Тем не менее рассказ Плутарха интересен не только как один из немногих уцелевших источников сведений об Архимеде, но и

как свидетельство перешагнувшей века славы ученого, изобретателя и воина. Плутарх пишет: "Архимед имел возвышенную душу и глубокий ум, и, обладая громадными богатствами геометрических теорий, он не хотел оставить ни одного сочинения относительно тех машин, которые доставили ему славу знания, не только доступного человеку, но почти божественного... Во всей геометрии нельзя найти более трудных и глубокомысленных задач, которые были бы решены так просто и ясно, как те, которыми занимался Архимед. Одни приписывают эту ясность его высоким дарованиям, другие же - тому напряженному труду, при помощи которого ему удавалось дать своим открытиям такое выражение, что они становятся доступными без труда. Если читатель сам не находит доказательства, то при изучении архимедовых сочинений у него создается впечатление, что он и сам смог бы без труда найти решения, - таким легким и быстрым путем Архимед приводит к тому, что он хочет доказать. Поэтому не кажется невероятным, что он, как рассказывают, будучи околдован геометрией, забывал о пище и пренебрегал заботами о своем теле. Часто его насильно заставляли принимать ванну и натираться мазями, а он чертил на золе геометрические фигуры и на своем намазанном маслом теле проводил пальцем линии, - настолько он был охвачен этими занятиями и действительно одухотворен музами. И хотя у него было много прекрасных открытий, он просил своих родственников и друзей начертить на его могиле только цилиндр и содержащийся в нем шар и указать соотношение между объемами этих тел. Таков был Архимед, который благодаря своим глубоким познаниям в механике смог, насколько это от него зависело, сохранить от поражения и себя самого и свой город".

Глава 2. Архимед-физик

Архимеда справедливо считают основоположником математической физики. С его именем связывается введение понятия центра тяжести, открытие законов рычага и разработка основ гидростатики. Известно, что он занимался и геометрической оптикой, хотя его работы в этой области до нас не дошли. Для древних греков физика была целостным учением о мире и считалась частью философии. Ее практические стороны, такие, как механика, относились к прикладным дисциплинам. Математика хотя и применялась, но от нее не требовали ни строгости, ни полноты описания явлений.

Архимед первым подошел к решению физических задач с широким применением математики. Как уже говорилось, он начал с механики. Античные механические представления настолько отличались от наших, что сейчас воспринимаются с

трудом, хотя "Физику" Аристотеля (384...322 г. до н.э.) в течение многих столетий изучали, комментировали, считали безошибочной. Аристотель разделял движения на "естественные" и "насильственные". Естественным считалось стремление материи к своему "месту", зависящему от ее свойств, например стремление камня к центру ; Земли, огня - от Земли вверх. Насильственные движения предполагали внешнюю причину - приложение силы. Механика Аристотеля не знала явления инерции: движение должно было прекратиться тотчас же после прекращения действия силы. Движение же по инерции объяснялось влиянием среды. Так, последователи Аристотеля считали, что при бросании камня возникает воздушный вихрь, несущий его после того, как камень покинул руку.

В своих трудах Архимед изучал только силы, которые с точки зрения аристотелевой механики вызывают "естественные" движения. Более того, он сразу упростил задачу, исключив из нее движение. Так появилась статика.

До Архимеда закон рычага рассматривался в сочинении "Механические проблемы", автором которого долгое время считался Аристотель.

В "Механических проблемах", которые составлены в форме вопросов и ответов, содержится описание ряда инструментов и механизмов (рычаг, колодезный журавль с противовесом, клещи, кривошип, полиспаст, зубчатые колеса, рычажные весы) и объяснение их действия на основе "принципа рычага" и правила: "Выигрываем в скорости (пути) - проигрываем в силе".

Однако отсутствие ясности в постановке задач в ряде случаев приводило к совершенно неправильным представлениям. Вот как, например, описывается в "Проблемах" работа корабельного руля: "Почему малый руль, привешенный на корме корабля, имеет столь большую силу?.. Быть может, потому, что руль есть рычаг, а рулевой есть то, что приводит его в действие? Стало быть, место, где он прикреплен к кораблю, становится точкой опоры, руль в целом рычагом, море - грузом, а рулевой - движущей силой". Действие руля, основанное на силе реакции отталкиваемой им воды, разумеется, нельзя свести к простому рычагу.

Нечетким рассуждениям, содержавшимся в "Механических проблемах", Архимед противопоставил безупречную теорию, построенную по законам геометрии. Архимед сделал в механике то, что греческие геометры сделали в египетской и вавилонской землемерной науке. Вместо полей они рассматривали отрезки плоскостей, вместо межевых границ - бесконечно тонкие и абсолютно прямые (или имеющие строго обусловленную кривизну) линии. И тогда оказалось возможным найти между

фигурами соотношения, о которых не подозревала восточная математика, удовлетворявшаяся решением практических задач.

Архимед придал геометрическим фигурам вес, равномерно распределенный по площади или объему. В отличие от автора "Механических проблем" он рассматривает не реальные рычаги или барабаны, а их идеализированные схемы. Это тем более замечательно, что Архимед был и блестящим практиком-конструктором.

Из механических, вернее, механогеометрических сочинений Архимеда до нас дошли только два: "О равновесии плоских фигур" и "Эфод, или послание Эратосфену о механических теоремах". Однако отрывки из его более ранних механических сочинений "О весах" и "О рычагах" сохранились в произведениях ряда авторов. Наиболее важные из них, относящиеся к учению о центре тяжести, имеются в "Механике" александрийского ученого I в. н.э. Герона и в "Математической библиотеке" ученого III в. н.э. (также александрийца) Паппа.

Центр тяжести

Первым открытием Архимеда в механике было введение понятия центра тяжести, т.е. доказательство того, что в любом теле есть единственная точка, в которой можно сосредоточить его вес, не нарушив равновесного состояния.

Герон и Папп приводят со ссылкой на Архимеда доказательство существования центра тяжести. Герон предваряет теорему фразой, относящейся к рассмотрению Архимедом идеализированных "физико-математических" тел (метод абстракции). Герон пишет: "Никто не отрицает, что о наклонении и отклонении в действительности говорят только о телах. Если же мы говорим о плоских или телесных (объемных) фигурах, что некоторая точка является их центром поворота и центром тяжести, то это достаточно разъяснено Архимедом". Эта фраза подтверждает, что замена тел их теоретическими моделями была в науке новшеством, введенным Архимедом.

Архимедовы определение центра тяжести и теорему о его существовании мы приведем в пересказе Паппа.

Определение центра тяжести формулируется так: "...центром тяжести некоторого тела является некоторая расположенная внутри него точка, обладающая тем свойством, что если за нее мысленно подвесить тяжелое тело, то оно останется в покое и сохранит первоначальное положение".

Доказательство существования центра тяжести также основано на мысленном уравновешивании тела. В нем тело мысленно помещают на горизонтальную прямую, являющуюся основанием вертикальной плоскости (рис. 1): "Если какое-нибудь

обладающее весом тело положить на прямую CD так, чтобы оно полностью рассекалось продолжением упомянутой плоскости, то оно может иногда занять такое положение, что будет оставаться в покое... Если затем переставить груз так, чтобы он касался прямой CD другой своей частью, то можно при поворачивании дать ему такое положение, что он, будучи отпущен, останется в покое... Если снова вообразить плоскость ABCD продолженной, то она разделит груз на две взаимно уравновешивающиеся части и пересечется с первой плоскостью... Если бы эти плоскости не пересеклись, то те же самые части были бы и уравновешивающимися и неуравновешивающимися, что нелепо".

Рис. 1. К определению центра тяжести тела

Действительно, если бы плоскости, рассекающие груз на уравновешенные части, оказались параллельными (не пересекались), то можно было бы уравновесить тело, не поворачивая его, а только сдвинув параллельно самому себе. Это означало бы, что к одной из частей добавился бы отнятый от второй части объем, заключенный между плоскостями, что должно было бы нарушить равновесие. Путем подобных же рассуждений доказывается, что на линии пересечения плоскостей находится единственная точка, являющаяся центром тяжести.

Архимед решил ряд задач на нахождение центров тяжести различных геометрических фигур: треугольника, параллелограмма, конуса, сегмента параболы.

Закон рычага

Закон рычага, вероятно, был сформулирован в одном из упомянутых выше не дошедших до нас сочинений Архимеда. Причем сохранившийся в "Механике" Герона отрывок из сочинения Архимеда показывает, что в этом сочинении рассматривался случай, когда точки приложения сил расположены на окружностях разного диаметра, имеющих общую точку поворота. Это схема таких механизмов, как ворот, зубчатая передача и амфирион (разновидность ворота, состоящая из сидящих на одном валу барабанов разного диаметра). Приведя теорему, сводящую этот случай к рычагу, Герон пишет: "Это доказал Архимед в своей книге о равновесии. Отсюда ясно, что можно сдвинуть большую величину малой силой".

Но более серьезную разработку этих проблем Архимед предпринял позже в сочинении "О равновесии плоских фигур", состоящем из двух частей. В первой приводится ряд аксиом и теорем общего характера, а во второй с их помощью решается задача о нахождении центра тяжести сегмента параболы. В этой работе Архимед впервые развил аксиоматический подход к механике. Он строит свою теорию на базе геометрии путем

добавления к геометрическим аксиомам нескольких "механических" аксиом. Книга начинается так:

"Сделаем следующие допущения:

1. Равные тяжести на равных длинах уравновешиваются, на неравных же длинах не уравновешиваются, но перевешивают тяжести на большей длине.

2. Если при равновесии тяжестей на каких-нибудь длинах к одной из тяжестей будет что-нибудь прибавлено, то они не будут уравновешиваться, но перевесит та тяжесть, к которой будет прибавлено".

Архимед приводит семь аксиом и на их основании доказывает ряд теорем, касающихся определения общего центра тяжести двух или нескольких фигур. Нахождение общего центра тяжести фигур сводится к их уравновешиванию на воображаемом рычаге, поскольку такое уравновешивание произойдет, если точка подвеса окажется в этом центре.

Содержание закона рычага, выведенного из аксиом, заключено в следующих двух теоремах:

1. "Соизмеримые величины уравновешиваются на длинах, которые будут обратно пропорциональны тяжестям".

2. "Если величины несоизмеримы, то они точно так же уравновешиваются на длинах, которые обратно пропорциональны этим величинам".

Разумеется, для практики, когда требуются лишь приближенные расчеты, вторая теорема не нужна. Но она имеет глубокий теоретический смысл, показывая, что закон рычага действует при любых отношениях плеч, включая и иррациональные.

Архимед не только ввел в геометрию новый класс задач (определение центров тяжести фигур), но и впервые применил при их решении "механические" методы (например, мысленное взвешивание для нахождения площадей сложных фигур).

Применив математику для изучения механического равновесия, Архимед показал, что математический подход к решению физических проблем не только помогает проникнуть в суть законов природы, но обогащает и саму математику.

"То механическое открытие"

В XI главе "Математической библиотеки" Паппа говорится: "Как определенный груз привести в движение определенной силой - это то механическое открытие Архимеда, которое заставило его радостно воскликнуть: "Дай мне место, где бы я мог стоять, и я подниму Землю!" Сходный по содержанию текст имеется у Плутарха, который рассказывает: "Архимед, между прочим, писал однажды своему родственнику и другу царю

Гиерону, что данной силой можно поднять любую тяжесть. В юношески смелом доверии к силе своего доказательства он сказал, что, если бы у него была другая Земля, он перешел бы на нее и сдвинул с места нашу. Удивленный Гиерон стал просить его доказать свои слова и привести в движение какое-либо большое тело малой силой. Архимед приказал посадить на царскую грузовую триеру, с громадным трудом с помощью многих рук вытащенную на берег, большой экипаж, положить на нее обыкновенный груз и, усевшись на некотором расстоянии, без всяких усилий, спокойно двигая рукой конец полиспаста, стал тянуть к себе триеру так тихо и ровно, как будто она плыла по морю".

Таким образом, открытие связывается с эффектной механической демонстрацией и со знаменитой фразой Архимеда о том, что он смог бы сдвинуть саму Землю. Обычно эту фразу относят к открытию закона рычага. Но рычаг был известен с незапамятных времен, а закон его действия, хотя и не строго, уже был сформулирован в "Механических проблемах". Кроме того, при попытке сдвинуть рычагом очень большой груз, мы получим весьма малое перемещение. Также мало вероятно, чтобы эта фраза относилась к какому-нибудь изобретенному Архимедом механизму, например винту. Ведь Папп говорит о каком-то открытом Архимедом законе, "как определенный груз привести в движение определенной силой". Ссылаясь на книгу Герона "Барулк", Папп пишет: "В "Барулк" он описывает, как поднять определенный груз определенной силой, причем он принимает отношение диаметра колеса к диаметру оси равным 5:1, предварительно допустив, что подлежащий поднятию груз весит 1000 талантов (25 т), а движущая сила равна 5 талантам (125 кг)". Далее Папп, меняя условия задачи (поднять груз в 160 талантов силой 4 таланта), описывает расчет многоступенчатого зубчатого редуктора, имеющего на входе червячную передачу.Слово "барулк", видимо, и является названием описываемого механизма.

"Открытие" не названо, но по крайней мере теперь мы знаем, что оно заключено в механизме, который мы бы назвали лебедкой, содержащей барабан для наматывания каната, несколько зубчатых передач и червячную пару. Кроме червячной передачи, которая входит в состав лебедки, остальные механизмы ворот и зубчатые колеса - упоминаются в "Механических проблемах" и, значит, были известны до Архимеда.

Новым здесь был сам принцип построения многоступенчатой передачи. Открытие Архимеда должно было состоять в нахождении закона определения общего "выигрыша в силе",

достигаемого с помощью механизма, состоящего из последовательно соединенных передач. Этот закон можно сформулировать так: общее передаточное отношение многозвенного механизма равно произведению передаточных отношений его звеньев.

Но это простое правило приводит к ошеломляющим результатам. Если взять пару зубчатых колес с отношениями радиусов 1:5 (как у Герона), то получим на большом колесе "выигрыш в силе" в 5 раз. Если же мы на вал с малым колесом насадим еще одно такое же большое и сцепим его с еще одним таким же маленьким, то получится уже "выигрыш" в 25 раз. Для редуктора с тремя такими передачами он будет равен 125, с пятью - 3125, а с семью передачами составит 390 625; наконец, взяв всего 12 передач, получим астрономическое число 1 220 703 125!

Найдя этот закон, Архимед открыл, на что способна механика, и счел не лишним продемонстрировать ее могущество окружающим.

Гидростатика

Хотя, как мы видим, Архимед ввел понятие центра тяжести и нашел закон рычага, в физику под именем закона Архимеда и архимедовой силы вошли понятия из его замечательного сочинения "О плавающих телах". Как и сочинение "О равновесии плоских фигур", это сочинение состоит из двух частей: вступительной, в которой даются основные положения, и основной, посвященной рассмотрению равновесия плавающего в жидкости параболоида вращения.

Замечательно, что роль аксиомы здесь берет на себя физическая модель "идеальной жидкости". "Предположим, - пишет Архимед, - что жидкость имеет такую природу, что из ее частиц, расположенных на одинаковом уровне и прилежащих друг к другу, менее сдавленные выталкиваются более сдавленными и что каждая из частиц сдавливается жидкостью, находящейся над ней по отвесу, если только жидкость не заключена в каком-нибудь сосуде и не сдавливается чем-нибудь другим". Это единственное предположение, исходя из которого Архимед выводит все остальное.

Первым выводом является доказательство того, что "поверхность всякой жидкости, установившейся неподвижно, будет иметь форму шара, центр которого совпадает с центром Земли". Далее следуют теоремы: "Тела, равнотяжелые с жидкостью, будучи опущены в эту жидкость, погружаются так, что никакая их часть не выступает над поверхностью жидкости и не будут двигаться вниз", "Тело, более легкое, чем жидкость, будучи

опущено в эту жидкость, погружается настолько, чтобы объем жидкости, соответствующий погружений части тела, имел вес, равный весу всего тела", Тела, более легкие, чем жидкость, опущенные в эту жидкость насильственно, будут выталкиваться вверх силой, равной тому весу, на который жидкость, имеющая равный объем с телом, будет тяжелее этого тела", "Тела, более тяжелые, чем жидкость, опущенные в жидкость, будут погружаться, пока не дойдут до самого низа, и в жидкости станут легче на величину а жидкости в объеме, равном объему погруженного тела".

Трудно представить себе более ясные и четкие формулировки поведения в воде плавающих тел. Но возникает вопрос: правомочно ли было выводить их из принятого вначале положения о свойствах жидкости. Как можно доказать его правильность?

И тут мы впервые в истории физики встречаемся со своеобразием ее аксиом.

Архимед предлагает нам мысленно представить себе вещество, состоящее из абсолютно скользких атомов, способных передавать давление во все стороны и подвергающихся давлению со стороны таких же атомов, находящихся сверху. Потом он математически исследует это вещество. Оказывается, что поверхность такого вещества в свободном состоянии есть сфера с центром в центре земного шара. Но так как это общеизвестный факт (форма поверхности Мирового океана), то отсюда можно сделать обратный вывод: поскольку поверхность океана - сфера, то жидкость имеет именно такое строение, какое постулировано Архимедом. Можно также не сомневаться в том, что выведенные математические законы гидростатики Архимед проверял на опыте.

Таким образом, сочинение "О плавающих телах" - первая попытка экспериментально проверить фундаментальное предположение о строении вещества путем создания его модели. В этом сочинении Архимед не только подтвердил атомистические идеи Демокрита, но и доказал ряд важных положений о физических свойствах атомов жидкости.

Архимед вывел законы гидростатики для идеальной жидкости, описав ее свойства. Свойства реальной жидкости немного отличаются от свойств архимедовой идеальной жидкости. Эти отличия в некоторых случаях играют заметную роль. Так, вопреки законам Архимеда смазанная жиром иголка может держаться на поверхности налитой в сосуд воды. Но нельзя упрекнуть ученого в неверности его законов. Эти законы справедливы постольку, поскольку жидкость приближается к

идеальной модели. Для описания свойств реальной жидкости надо внести соответствующие поправки в модель. Но это не опровергает справедливость выкладок Архимеда.

Определение удельного веса

Римский архитектор Витрувий, сообщая о поразивших его открытиях разных ученых, приводит следующую историю: "Что касается Архимеда, то изо всех его многочисленных и разнообразных открытий то открытие, о котором я расскажу, представляется мне сделанным с безграничным остроумием.

Во время своего царствования в Сиракузах Гиерон после благополучного окончания всех своих мероприятий дал обет пожертвовать в какой-то храм золотую корону бессмертным богам. Он условился с мастером о большой цене за работу и дал ему нужное по весу количество золота. В назначенный день мастер принес свою работу царю, который нашел ее отлично исполненной; после взвешивания корона оказалась соответствующей выданному весу золота.

После этого был сделан донос, что из короны была взята часть золота и вместо него примешано такое же количество серебра. Гиерон разгневался на то, что его провели, и, не находя способа уличить это воровство, попросил Архимеда хорошенько подумать об этом. Тот, погруженный в думы по этому вопросу, как-то случайно пришел в баню и там, опустившись в ванну, заметил, что из нее вытекает такое количество воды, каков объем его тела, погруженного в ванну. Выяснив себе ценность этого факта, он, не долго думая, выскочил с радостью из ванны, пошел домой голым и громким голосом сообщал всем, что он нашел то, что искал. Он бежал и кричал одно и то же по-гречески: "Эврика, эврика! (Нашел, нашел!)".

Затем, исходя из своего открытия, он, говорят, сделал два слитка, каждый такого же веса, какого была корона, один из золота, другой из серебра. Сделав это, он наполнил сосуд до самых краев и опустил в него серебряный слиток, и... соответственное ему количество воды вытекло. Вынув слиток, он долил в сосуд такое же количество воды.., отмеряя вливаемую воду секстарием (0,547л), чтобы, как прежде, сосуд был наполнен водой до самых краев. Так он нашел, какой вес серебра соответствует какому определенному объему воды.

Произведя такое исследование, он таким же образом опустил золотой слиток... и, добавив той же меркой вылившееся количество воды, нашел на основании меньшего количества секстантов воды (секстант - римская мера веса, равная 0,534 Н), насколько меньший объем занимает слиток".

Потом тем же методом был определен объем короны. Она

вытеснила воды больше, чем золотой слиток, и кража была доказана.

Часто этот, рассказ связывают с открытием закона Архимеда, хотя он касается способа определения объема тел неправильной формы.

Возможно, что в этом рассказе Витрувия ванна, забытая одежда и возглас "Эврика!" являются вымыслом, но нас интересуют научные факты. Во-первых, бросается в глаза, что согласно описанию Витрувия Архимед сделал больше того, что требовалось. Чтобы обнаружить примесь, достаточно было сравнить объем короны с объемом равного ей веса золота. По-видимому, Витрувий не вполне разобрался в какой-то другой принадлежавшей Архимеду задаче об определении удельного веса тел. Об этом свидетельствует и фраза: "Отсюда он нашел, какой вес серебра соответствует какому объему воды". В ней, собственно, и содержится определение удельного веса - отношение веса к объему или к весу вытесненной воды (при измерении объема золотого слитка говорится о весе воды).

Таким образом, Архимед является автором методики определения удельного веса тел путем измерения их объема погружением в жидкость.

Оптика

В своем стремлении математически описать явления природы Архимед выделял задачи, наиболее поддающиеся геометрическому анализу. Поэтому занятия Архимеда в области геометрической оптики - "катоптрике", как ее называли прежде, можно считать закономерными.

Очень немного можно сказать о "катоптрике" Архимеда. От нее в позднем пересказе уцелела единственная теорема, в которой доказывается, что при отражении света от зеркала угол падения луча равен углу отражения. Свои оптические теории (как и механические) Архимед строил на основе аксиом. Одной из таких аксиом являлась обратимость хода луча - глаз и объект наблюдения можно поменять местами. Весь же круг вопросов "катоптрики" был очень широк. Перечисление проблем, которых касался Архимед в этой книге, мы находим у других авторов античного периода. Вот как об этих работах говорил Апулей: "Почему в плоских зеркалах предметы сохраняют свою натуральную величину, в выпуклых - уменьшаются, а в вогнутых - увеличиваются; почему левые части предметов видны справа и наоборот; когда изображение в зеркале исчезает и когда появляется; почему вогнутые зеркала, будучи поставлены против Солнца, зажигают поднесенный к ним трут; почему в небе видна радуга; почему иногда кажется, что на небе два одинаковых

Солнца, и много другого подобного же рода, о чем рассказывается в объемистом томе Архимеда". Из других свидетельств следует, что Архимед изучал также и явление преломления лучей в воде.

С "катоптрикой" связана легенда о поджоге Архимедом римских кораблей во время осады Сиракуз. Что в ней вымысел и что, быть может, является отражением действительных событий, мы рассмотрим в отдельной главе.

Можно не сомневаться в том, что "катоптрика" Архимеда оказала большое влияние на последующее развитие оптики.

Влияние работ Архимеда на развитие физики

Если говорить об ученых, опередивших свое время, то Архимед, вероятно, может считаться своеобразным рекордсменом. Его идеи нашли продолжателей лишь через 1800 лет.

Предложенное Архимедом направление в науке - математическая физика, которую он провозгласил и в которой так много сделал, не была воспринята ни его ближайшими потомками, ни учеными средневековья.

Архимеда знали как гениального математика, им восхищались, его изучали и комментировали, но его физические работы долгое время не получали развития.

В какой-то мере в средние века на сочинениях Архимеда базировались работы ряда ученых Востока о взвешивании и определении удельного веса веществ. Математик и астроном IX в. Сабит ибн-Корра перевел на арабский язык и прокомментировал многие сочинения Архимеда и составил трактат о рычажных весах. На основе сочинения Архимеда "О плавающих телах" крупнейшие ученые того же времени ал-Бируни и Омар Хайям провели определения удельных весов большого количества металлов и драгоценных камней. При этом ал-Бируни пользовался методом сравнения значений веса равных объемов различных минералов, а Омар Хайям - методом взвешивания образцов на воздухе и в воде.

В эпоху Возрождения, когда центр научной мысли вновь переместился в Европу, европейская наука училась у арабской. Некоторые труды Архимеда дошли до нас только в арабских переводах. Одним из первых продолжателей механики Архимеда был итальянский ученый и инженер Гвидо Убальди дель Монте (1545...1607), исследовавший вопросы равновесия и решивший задачу о грузе на наклонной плоскости. Многое сделал для развития статики Архимеда другой итальянский ученый - Джовани Баттиста Бенедетти (1530...1590). Крупнейшим механиком "школы Архимеда" был фламандский ученый Симон Стевин (1548...1620). В своем классическом труде "Начала

статики" он не только исходит из ряда аксиом Архимеда, но и развивает его работы, анализируя целый ряд механизмов. В число постулатов Стевин вводит принцип невозможности вечного двигателя; ему принадлежит также введение обозначений сил в виде стрелок. Много Стевин сделал и в области гидростатики, развив положения Архимеда, данные им в "Плавающих телах". Интерес Стевина к этим проблемам был далеко не абстрактным, так как он занимал должность инспектора плотин и консультанта голландского адмиралтейства.

Главным достижением классической механики была математическая разработка законов динамики Галилеем и Ньютоном. И хотя здесь достижения Архимеда непосредственно не использовались, его математический подход к проблемам торжествовал. Знаменательно, что Галилей хорошо знал труды Архимеда и часто к ним обращался. Например, при рассмотрении равноускоренного движения он писал: "Я не предполагаю ничего иного, кроме определения движения; я хочу трактовать и рассматривать это явление в подражание Архимеду, который, заявив в "Спиральных линиях", что под движением по спирали он понимает движение, слагающееся из двух равномерных (одного - прямолинейного, а другого - кругового), непосредственно переходит к демонстрации выводов. Я заявляю о намерении исследовать признаки, присущие движению тела, начинающемуся с состоянии покоя и продолжающемуся с равномерно возрастающей скоростью, а именно так, что приращения этой скорости возрастают не скачками, а плавно, пропорционально времени".

Глава 3. Архимед-инженер

Слава Архимеда-инженера была внезапной и ошеломляющей, оставившей след в сознании всего эллинистического мира, перешагнувшей границы стран и столетий. Инженерный гений Архимеда проявился при драматических обстоятельствах осады Сиракуз весной 214 г. до н.э., когда Архимеду было уже за семьдесят. Эта победа над римлянами стала величайшим триумфом, который когда-либо выпадал на долю ученых.

Осада

"Римляне, взявшие Леонтины с первого же натиска, под действием только ужаса, - пишет Тит Ливий, - были вполне уверены, что в каком-нибудь месте они прорвутся в обширный, разбросанный по большому пространству город, и придвинули к стенам всю наличность осадных машин. И начатое с такой силой предприятие увенчалось бы успехом, если бы в то время не было одного человека. Этим человеком был Архимед".

Тита Ливия отделяют от эпохи Архимеда полтора столетия.

Сохранилось описание осады, более близкое по времени. Его дал в своей "Всеобщей истории" греческий историк Полибий (201...120 г. до н.э.). К сожалению, "История" Полибия дошла до нас в отрывках, включенных в византийскую историческую хрестоматию XII в., содержащую подобранные по темам цитаты из сочинений разных историков. В хрестоматии есть и раздел "об осадах", в котором уцелел рассказ о штурме Сиракуз.

В своей "Всемирной истории", написанной примерно через пятьдесят лет после осады Сиракуз, Полибий рассказывает: "Начальники расположились станом невдалеке от города и решили, что сухопутное войско пойдет на приступ со стороны Гексапил(шестивратная башня в северной стене Сиракуз, куда входила леонтинская дорога), а флот - против Ахрадины(приморский район Сиракуз) у портика, именуемого Скитским, где стена тянется вдоль моря. Приготовив плетенки (переносные укрытия), метательные орудия и все прочее, нужное для осады, римляне надеялись благодаря многочисленности рабочих рук покончить с приготовлениями в течение пяти дней и не дать неприятелю подготовиться. Но при этом они не приняли в расчет искусство Архимеда, не учли, что иногда один даровитый человек способен сделать больше, чем множество рук...

Архимед заготовил внутри города... такие средства обороны, что защитникам не было необходимости утруждать себя непредусмотренными работами на случай неожиданных способов нападения; у них заранее было все готово к отражению врага...

Итак, Аппий сделал попытку приблизиться к той части стены, которая с востока упирается в Гексапилы, а Марцелл с шестьюдесятью пятипалубными судами направился против Ахрадины. Находившиеся на каждом судне люди были вооружены луками, пращами и легкими дротиками, чтобы прогонять врага с зубцов стен. Вместе с тем римляне сняли у восьми пятипалубных судов весла у одних с правой стороны, у других с левой, - связали суда попарно бортами, лишенными весел, и, действуя веслами только с наружных сторон, стали подводить к городской стене так называемые самбуки (штурмовые трапы, укрепленные на кораблях)....

Однако Архимед соорудил машины, которые могли выбрасывать снаряды на любое желаемое расстояние, Враги были еще далеко от города, когда Архимед из своих больших дальнобойных метательных машин стал поражать их корабли таким множеством тяжелых снарядов и стрел, что они никак не могли уберечься от них и оказались беспомощными и бездеятельными. Когда Архимед замечал, что снаряды попадают слишком далеко... он пускал в ход меньшие машины,

соответственно нужному ему расстоянию...

Лишь только римляне начинали выставлять против города самбуки, осажденные тотчас же пускали в ход свои машины, находившиеся внутри городских стен и остававшиеся до этих пор незаметными для врага. Когда надо было пустить их в дело, они поднимались над бастионами и высовывали свои клювы далеко вперед от укреплений города. Одни несли на себе камни, весившие не менее десяти талантов (четверти тонны), другие - груды свинца. Как только самбуки приближались к стенам, осажденные, ослабляя при помощи канатов блоки, к которым "клювы" этих машин были подвешены, поворачивали их вправо или влево - туда, где это было нужно; затем открывались задвижки и из клюва падал на самбуки камень, который разбивал не только машину, но и корабль, на котором она стояла, подвергая находившихся на ней воинов величайшей опасности.

В распоряжении сиракузян были и другие машины; когда приближались вражеские корабли, покрытые специальными плетенками для защиты от стрел, бросаемых через отверстия в стенах, эти машины бросали камни такой величины, что находившиеся на носах кораблей принуждены были спасаться бегством. Кроме того, по приказу Архимеда опускалась железная лапа, привязанная к цепи. Этой лапой машинист, управлявший клювом машины, точно рулем корабля, захватывал нос корабля и затем опускал вниз другой конец машины, находившейся внутри городских стен. Он поднимал таким образом в воздух нос корабля и ставил корабль отвесно на корму, а затем закреплял неподвижно основание, а лапа и цепь отделялись при помощи каната. Непосредственным результатом этого было то, что корабли либо падали на бок, либо совершенно опрокидывались; еще чаще (так как носы падали с большой высоты в море) корабли совершенно наполнялись водой и погружались к ужасу тех, которые на них находились.

Марцелл оказался в очень тяжелом положении. Все его планы терпели крушение. Потери римлян были огромны, а осажденные глумились над всеми их усилиями...

Аппий с войском очутился в столь же трудном положении и потому совсем отказался от приступа. И действительно, находясь еще далеко от города, римляне сильно терпели от метательных машин Архимеда, ибо сиракузяне имели наготове множество превосходных и метких метательных орудий. Оно и понятно, так как Гиерон дал на них деньги, а Архимед изобрел и мастерски исполнил. Итак, когда римляне приближались к городу, одни из них были, как я говорил уже выше, непрерывно обстреливаемы через отверстия в стене, терпели урон и не могли продолжать

наступление, другие, надеявшиеся пробиться вперед под защитой плетенок, гибли под ударами камней и бревен, падавших сверху.

Много бед причинили сиракузяне римлянам и теми машинами с железными лапами... Лапы эти поднимали воинов в полном вооружении и кидали их вниз... Аппий с товарищами возвратился на стоянку и устроил совещание с трибунами, на котором единогласно решили испытать все мыслимые средства, но отказаться от надежды взять Сиракузы приступом...

Марцелл, раздосадованный неудачами, вынужден был сделать попытку тайком, ночью подойти к городу на кораблях. Когда римляне подошли к берегу на расстояние выстрела, Архимед употребил другое средство против воинов, сражавшихся с судов. Он велел сделать в стене приблизительно на высоте человеческого роста отверстия, с наружной стороны имевшие ширину пальца в четыре; у отверстий изнутри стены он поставил стрелков с легкими скорпионами (самострелами), через отверстия обстреливал корабельных воинов и тем отнимал у них возможность что-нибудь сделать...

Римляне оставались под стенами города в течение восьми месяцев, и не было такой уловки или отважного дела, перед которым они остановились бы, но на приступ идти они уже ни разу не осмелились. Такова чудесная сила одного человека, одного дарования, умело приспособленного к какому-либо специальному делу. Вот и теперь, располагая столь значительными силами сухопутными и морскими, римляне надеялись с первого же приступа взять город и сделали бы это, если бы кто-нибудь изъял из среды сиракузян одного этого старичка. Но он был, и римляне не решались даже идти на приступ".

Текст Полибия интересен во многих отношениях, тем более что его близость по времени к описанным событиям и авторитет Полибия как объективного историка позволяют считать описанные факты достоверными.

Во-первых, ясно, что Архимед являлся одним из непосредственных руководителей обороны. Власть в Сиракузах в это время принадлежала офицерам Ганнибала (Гиппократу и Эпикиду), но о них Полибий здесь и не упоминает. Двум римским полководцам - Марцеллу и Аппию противопоставлен Архимед, причем Архимед показан не только создателем системы обороны, но и ее организатором. Полибий это специально подчеркивает, употребляя выражение "по приказу Архимеда" или рассуждая о том, что римляне взяли бы город, если бы кто-нибудь изъял ученого из среды сиракузян.

Из рассказа Полибия явствует, что машинами для обороны

города Архимед занимался задолго до того, как они пригодились. Эти машины поразили воображение современников. И не только машины. Полибия явно восхищает и удивляет глубокая, мы бы сказали, математическая продуманность обороны. Видимо, Архимед умел рассчитывать не только геометрические соотношения. Но сейчас основной интерес в тексте Полибия для нас представляет описание архимедовых машин.

Как уже говорилось, Диодор Сицилийский упоминал о "многих замечательных изобретениях" Архимеда, "известных всему миру". Но "список Диодора" не Л сохранился. В рассказе же Полибия этот перечень выглядит так:

1. метательные машины,

2. машины для сбрасывания камней и "груд свинца" на корабли,

3. машины с "железными лапами", опрокидывавшие корабли и хватавшие воинов,

4. применение бойниц, устроенных в теле крепостных стен.

Разберем по порядку эти названные Полибием архимедовы новшества.

Метательные машины

Об античных метательных машинах известно довольно много. Но сказать, какие усовершенствования в них внес Архимед, не представляется возможным (текст Полибия не содержит об этом конкретных указаний). Вероятно, по дальнобойности и весу бросаемых "снарядов" они намного превосходили подобные же машины того времени. Так, во всяком случае, можно понять следующие слова Полибия: "Враги были еще далеко от города, когда Архимед из своих больших дальнобойных машин стал поражать их корабли... множеством тяжелых снарядов и стрел". Но пожалуй, еще больше, чем качеством архимедовой артиллерии, Полибий восхищается "системой стрельбы", совместными действиями метательных машин различной дальнобойности, которые, очевидно, не могли быть достигнуты без соответствующих расчетов и предварительной пристрелки местности. Полибий так увлекается разъяснением действия артиллерии Архимеда, что явно переоценивает эффект стрельбы. Сначала он пишет, что из-за нее римляне не могли подойти к стенам, но потом оказывается, что сиракузянам пришлось сражаться с врагом непосредственно у стен. По-видимому, для военной тактики того времени, концентрированное применение метательных машин и планирование стрельбы было важным новшеством, выведенным Архимедом.

Оборонительные машины ближнего действия

"Железные лапы" или "сбрасыватели камней", судя по описанию Полибия, были схожи. Еще вероятнее, что это была одна и та же конструкция, которая могла оснащаться захватывающей "лапой" или сбрасываемым каменным снарядом.

Во всем ли можно верить Полибию? С.Я. Лурье в своей книге "Архимед" высказывает к нему определенное недоверие именно в этом вопросе: "Рассказу о судах, вытянутых из воды железными лапами и поставленных вертикально на корму, верить нельзя: такого результата без помощи механического двигателя достигнуть невозможно", - пишет он.

И.Н. Веселовский, напротив, доверяет Полибию и отмечает, что создание машин для опрокидывания кораблей могло служить для Архимеда толчком к изучению устойчивости плавающих тел и разработке основ гидростатики.

Идея применения "подъемных кранов" для целей обороны не принадлежит Архимеду. Витрувий приводит, например, следующую историю, произошедшую почти за сто лет до знаменитой осады Сиракуз: "Был в Родосе такой архитектор Диогнет. Ему из казны ежегодно выплачивалось определенное содержание... В ту пору прибыл в Родос еще один архитектор Каллий из Арада, выступил с докладом и представил макет стены: на верху ее установил на вращающейся площадке механизм, при помощи которого он подхватывал "гелеполу" (осадную башню) в момент подхода ее к городским стенам и переправлял ее внутрь города через стену. Когда родосцы увидели этот макет, то пришли в восхищение, отняли у Диогнета установленное ежегодное содержание и эту честь перенесли на Каллия".

Дальше события развивались следующим образом. В 304 г. до н.э. в ходе войн между преемниками Александра Македонского Деметрий Полиоркет осадил Родос. Бывший в его войске афинский архитектор Епимах соорудил осадную машину, "стоившую чудовищных средств, с затратой напряженнейшей изобретательской энергии и труда". Машина имела высоту порядка 40 м, ширину 20 м и весила около 100 т. Когда родосцы попросили Каллия осуществить свой проект и спасти их от врага, перетащив эту машину в город, он честно ответил, что сделать этого не может. Родос спас опальный архитектор Диогнет, к которому горожане явились на поклон. В ночь перед штурмом он велел незаметно вылить перед стеной огромное количество воды и грязи, и утром машина врага намертво завязла в грязи, так и не дойдя до укреплений.

Этот пример наглядно показывает дистанцию от идеи до возможности ее реального воплощения. Заслуга Архимеда как

конструктора состоит в том, что он не довольствовался макетами, а доводил свои грандиозные замыслы до полного завершения.

В отрывках сочинения Полибия мы находим следующие характеристики машин Архимеда.

1. Машины были передвижными. Полибий пишет, что они скрывались за стенами и, только когда было нужно, выдвигались за пределы укреплений. Кроме того, их, вероятно, надо было передвигать вдоль стены к тому месту, где в этот момент совершалось нападение.

2. Машина имела стрелу, поворачивавшуюся вокруг вертикальной оси: "Осажденные... поворачивали их вправо или влево... Машинист управлял машиной, словно рулем корабля..."

3. Стрела поворачивалась также вокруг горизонтальной оси: "Этой лапой машинист... захватывал нос корабля и затем опускал вниз другой конец машины, находившейся внутри городских стен".

4. Очень вероятно, что на конце главной стрелы помещалась вспомогательная, как у современных портовых кранов (на это указывает термин "клюв", примененный к описанию конца машины).

Описание машин Архимеда, данное Титом Ливием, в целом совпадает с описанием Полибия: "На те же корабли, которые подходили ближе... Архимед при помощи выступающего за стену рычага набрасывал железную лапу; когда она захватывала нос корабля, то при помощи опускающегося до земли тяжелого противовеса нос корабля поднимался..."

Плутарх в своем описании осады больше стремился к эффектности, чем к точности, но нарисованный им внешний облик машин тоже соответствует их описанию в книге Полибия, хотя слово "клюв" он понял буквально: "Другие (машины) железными лапами или клювами наподобие журавлиных схватывали корабли за носы, поднимали их в воздух, ставили корабль на корму и затем топили. Часто корабль поднимало высоко над поверхностью моря, и, вися в воздухе, он, к ужасу окружающих, качался в разные стороны..."

На рис. 2 показаны возможные схемы машины: 1 - машина с одним рычагом; 2 - машина с дополнительным рычагом (клювом"). В варианте 3 предусмотрен противовес, который можно перемещать по балке, чтобы уравновесить меняющуюся нагрузку. В схеме по варианту 4 задний конец стрелы притягивается к заделанному в землю анкеру. В этом случае основание машины не испытывает опрокидывающих нагрузок, и такое решение представляется наиболее вероятным.

Рис. 2. Возможные схемы оборонительной машины Архимеда

Во всех вариантах "лапа" прикреплена на короткой цепи к концу стрелы. Может показаться, что слова Полибия: "...опускалась железная лапа, привязанная цепью" - нужно понимать в том смысле, что с неподвижной машины висящая на цепи "лапа" опускалась при "стравливании" цепи. Однако вероятность такого решения мала. Чтобы захватить нос корабля, стреле нужно подвести "лапу" точно к нужному месту. Сделать это при большой длине цепи намного труднее, чем при малой. Кроме того, механизмы вытягивания цепи сложны и их применение без крайней необходимости сомнительно. Зато построить механизм сбрасывания "лапы" с использованием цепи очень просто: последнее звено цепи должно висеть на стержне, который можно из-под него выдернуть.

Зная о свойствах центра тяжести, Архимед мог совместить оси поворота "клюва" с его центром тяжести и то же самое сделать с главной стрелой, уравновесив ее с "клювом". В таком случае механизм будет находиться в состоянии безразличного равновесия, какие бы положения ни занимала стрела. Это свойство очень важно для легкости управления машиной. Без такого уравновешивания управление стрелой, вес которой должен был составлять несколько тонн, оказалось бы невозможным. А ведь Полибий пишет, что машиной управлял один машинист! Так что в этой машине должны были найти применение теория центра тяжести и глубокое знание законов рычага.

Если "камнесбрасыватель" и "железная лапа" были одной машиной, но с разным сменным "вооружением", вес каменного снаряда и вес "лапы" должны были быть близкими (чтобы машина в момент наведения оставалась уравновешенной). По-видимому, такое требование выполнить нетрудно.

Попытаемся теперь представить себе технические характеристики машины. Они, конечно, во многом должны зависеть от размеров и веса кораблей, с которыми велась борьба.

Основными типами античных судов были галеры (беспалубные суда с одним ярусом весел), триремы (суда, имевшие три ряда весел) и пентеры (с пятью ярусами весел). Галеры несли команду около 80 человек и имели водоизмещение до 100 т. Команда трирем состояла примерно из 200 человек, а их водоизмещение превышало 200 т; это был наиболее распространенный тип военного корабля той эпохи. Наконец, пентеры весили больше 500 т и имели экипаж из 350...400 человек.

Как мы видим, суда уже в ту эпоху обладали внушительным весом. Поэтому правдивость приведенного Полибием описания действия "железных лап" действительно может вызвать сомнения.

Чтобы поднимать корабли на воздух, эта машина должна была обладать грузоподъемностью в сотни тонн. Однако в действительности Полибий не пишет, что корабли вытягивались из воды (кстати, для целей обороны это и не нужно). Согласно описанию Полибия машины Архимеда лишь переворачивали корабли. А для этого требуется сила, гораздо меньшая веса корабля. Достаточно было приподнять нос корабля настолько, чтобы погрузить в воду корму или часть весельных люков. (Нижние весла у многоярусных судов располагались так низко, что во время волнения их люки приходилось задраивать кожаными щитами.) Вода хлынет внутрь, корабль начнет погружаться и переворачиваться сам. Проделанные расчеты показывают, что для этого достаточна сила, составляющая приблизительно 10% веса корабля. Грузоподъемность архимедовых машин могла составлять 10...15 т, и создание таких машин - задача, вполне разрешимая для античной техники. Такую силу вполне могут создать объединенные действия нескольких сотен человек. Известный норвежский путешественник Тур Хейердал для разгадки методов транспортировки гигантских статуй на острове Пасхи, провел следующий опыт. Лежащую на земле статую весом 12 т обмотали канатом, и 180 человек, взявшихся за канат, сравнительно легко протащили ее по земле.

Если коэффициент трения камня по земле принять равным даже 0,5, то каждый из участников этого эксперимента тянул с силой 30 кг.

Машины, с помощью которых грузы поднимались за счет силы людей, тянущих канаты, в античную эпоху применялись. Витрувий описал подъёмный кран: "Груз крепится к параллельным трехкратным или пятикратным полиспастам, от которых три каната спускаются к особому блоку, который привязывается к основанию машины и содержит три ролика, через которые канаты, будучи продеты, передаются в руки людей для тяги. Таким образом, три ряда людей тянут без помощи ворота и быстро поднимают тяжесть на надлежащую высоту".

Предполагаемое действие машины Архимеда было следующим. При приближении вражеского корабля машину подтаскивали (скорее всего, на полозьях) к опасному месту и машинисты, манипулируя стрелами, пытались захватить вражеский корабль. В это время канаты полиспастов были распущены и не мешали движению машины. Но как только корабль оказывался "зачаленным", нижние блоки полиспастов зацеплялись за один из анкеров, заранее заделанных в грунт вдоль стены, и сотни людей, впрягшись в канаты, бежали, притягивая внутренний конец стрелы к земле. При этом машина

поднимала "клюв" и опрокидывала судно.

У Полибия сказано, что лапы "поднимали воинов в полном вооружении и швыряли вниз". Если корабль еще можно подцепить крюком, то применение такого же приема против воина сомнительно. Кроме того, в этом случае "лапа", судя по тексту, не сбрасывалась, а расстегивалась.

Что касается самой "железной лапы" - устройства для захвата судов, то это мог быть механический захват типа клещей или крюк. Сообщение Полибия о том, что "лапа и цепь отделялись при помощи каната", т.е. тонули вместе с кораблем, естественное в случае применения крюка, не находится также в противоречии с возможностью использования самозатягивающихся клещей: открыть такие клещи под нагрузкой практически невозможно. В пользу клещей свидетельствует применение "железных лап" против пехоты.

Принцип этого несложного устройства описан в "Пиротехнике"итальянского инженера Вануччо Берингуччо, изданной в 1540 г. Клещи, сжимавшиеся надетым на их изогнутые ручки кольцом, применялись для захвата проволоки при волочении. Видимо, конструкция эта очень старая. Во всяком случае несомненно, что создание подобного захватного устройства не представляло для Архимеда неразрешимой проблемы. "Железные лапы" Архимеда были уникальными машинами - предками современных манипуляторов и подъемных кранов. Ни до, ни после Архимеда никто таких военных машин не использовал. Психологический эффект их применения на нападавших был огромен. Плутарх пишет: "Наконец, римляне стали так трусливы, что если замечали, что над стеной движется кусок каната или бревно, то кричали: "Вот, вот оно!" - и, думая, что Архимед хочет направить на них какую-нибудь машину, ударялись в бегство".

Бойницы в стенах

Античная фортификация знала только сплошные стены. Амбразуры в теле крепостных укреплений (так называемый "нижний и средний бой") появились в средние века с распространением огнестрельного оружия. Недаром Полибий описывает бойницы сиракузских стен как некую хитрость, придуманную Архимедом.

Из этого следует, что Архимед был не только механиком, но и строителем, причем строителем незаурядным.

Бойницы сильно усложняют конструкцию стены, ведь в ее толще требуется поместить ниши для стрелков, оснастить ее соответствующими помостами и лестницами.

О том, что Архимед занимался строительным делом,

свидетельствует и его не дошедшее до нас сочинение "Книга опор". Отрывки из нее сохранились в "Механике" Герона, которая дошла до нас в переводе арабского ученого IX в. н.э. Косты ал-Балбаки.

Изложение содержания "Книги опор" Герои открывает знаменательной фразой: "Нам совершенно необходимо разъяснить кое-что о давлении, его передаче и переносе с количественной стороны".

Надо сказать, что "Книга опор", по-видимому, является единственной в античной технике работой, посвященной строительным расчетам. Дошедшие до нас тексты этого рода относятся либо к определению пропорций между частями сооружений, либо к вычислению объемов и стоимости нужных материалов. Но расчетов на прочность не только в эпоху Архимеда, но и гораздо позже архитекторы не вели. Это приводило иногда к огромным запасам прочности, невероятно удорожавшим сооружения, а иногда к крупным авариям. Так, в 27 г. н.э. в городе Фиденах под Римом рухнул во время гладиаторского боя амфитеатр, полный публики. В результате этой грандиозной катастрофы погибло несколько тысяч человек.

Задачи, рассматриваемые в "Книге опор", состоят в определении давлений на колонны, подпирающие длинную балку или стену. Архимед решает задачу следующим образом: он мысленно рассекает балку в местах, где ее подпирают средние колонны, и таким образом получает вместо одной "многоопорной" балки ряд "двухопорных"; в этом случае определение нагрузки не составляет труда (достаточно поделить вес нужного отрезка балки пополам). С точки зрения современной науки такое решение задачи не совсем правильно: не учтена несущая способность самой балки.

Все же решение Архимеда в ряде случаев (когда "балка" не обладает значительной жесткостью) приводит к правильным результатам (например, при расчете подпорок перекрытия с земляным потолком, опор под сложенной из камней стеной или столбов, держащих желоб, в котором главной нагрузкой является вода).

В "Книге опор" рассматривалось также давление двухопорной балки на колонны в случае действия на нее сосредоточенных нагрузок (подвешивание груза); эта задача решалась правильно.

Особый интерес представляет задача о балке, имеющей выступающие концы. В этом случае Архимед рассматривал балку как рычаг и решение было неверно. Причиной этого было отсутствие представления о центре тяжести, что заставляет считать "Книгу опор" ранним произведением Архимеда,

написанным до введения им этого понятия.

Водоподъемный винт

Историк Диодор в одном из своих сочинений пишет: "Нил после разливов наносит на поля новые количества ила, и обитатели легко могут орошать все поле с помощью изобретенной Архимедом Сиракузским машины, которая по причине своей формы носит название улитки (кохлеи)". Речь идет о винте Архимеда.

В сочинении писателя II в. н.э. Атенея об удалении воды из трюма корабля сказано: "Ее отсасывал один человек при помощи изобретенного Архимедом бесконечного винта".

"Улитка" устроена просто, и изготовление ее по силам любому плотнику. Вот как говорит об этом Витрувий:

"Берут балку... и придают ей форму вала, обтесав по циркулю. На круглую поверхность наносят продольные и поперечные (охватывающие) линии. Потом берут гибкую просмоленную рейку и прибивают ее к бревну так, чтобы она проходила наискось через точки пересечения разметочных штрихов, т.е. шла по винтовой линии. Сверху на эту рейку набивают такую же, потом еще и еще, пока виток не станет достаточно высоким. Таким образом, рейки образуют собой винтообразные канальцы,...т.е. настоящую натуральную имитацию улитки. К этим спиралям прибивают обшивку из досок, чтобы закрыть спиральные ходы, затем пропитывают ее смолой и обвивают железными обручами для того, чтобы она не могла лопнуть под влиянием воды. Выступающие концы бревна кладут на опоры так, чтобы один конец обшивки был в воде, а другой поднимался над тем местом, куда надо подавать воду. В установленном наклонно винте между витками и обшивкой образуются карманы, которые заполняются водой. Поскольку эти карманы при вращении "улитки" как бы бегут вверх, то и захваченная ими вода поднимается, пока не выплеснется.

Сохранилась помпейская фреска, на которой изображена эта машина. Вращает ее человек, переступающий ногами по самой обшивке винта.

На изготовление "улитки" уходит меньше дерева, чем на изготовление водоподъемного колеса, что важно для южных стран, где дерево - дефицитный материал.

В Египте архимедову "улитку" можно найти и сейчас.

Очень удобным оказался водоподъемный винт для откачки воды из шахт. Винты не занимали много места и хорошо вписывались в наклонные выработки.

Историк Диодор, описывая испанские рудники, сообщает: "Горнорабочие встречаются иногда с подземными реками,

быстрое течение которых они уменьшают, отводя их в наклонные рвы, и неутомимая жажда золота заставляет их доводить до конца свои предприятия. Самое удивительное заключается в том, что они могут целиком вывести всю воду на поверхность при помощи египетских винтов, которые изобрел Архимед Сиракузский... Они, таким образом, постепенно подымают воду вплоть до отверстия рудника и после осушения подземных галерей спокойно в них работают. Эта машина так искусно устроена, что с ее помощью можно поднять громадные массы воды и даже легко вывести целую реку из земных глубин на поверхность".

Преимущества водоподъемного винта обеспечили ему широкое применение в течение многих столетий. Наброски архимедовых винтов имеются среди технических рисунков Леонардо да Винчи. Но по конструкции они отличаются от античных. Винт образуется спиральной трубой, надетой на стержень. "Это изобретение", - писал Галилей об архимедовом винте, - не только великолепно, но просто чудесно, поскольку мы видим, что вода подымается в винте, беспрерывно опускаясь".

Другие механизмы Архимеда

Среди средств практической механики, которые, по выражению Диодора, "известны всему миру", устройства, принадлежащие Архимеду, следует искать в числе тех, которые не упомянуты в "Механических проблемах" и, следовательно, не были, по-видимому, известны ко времени Архимеда, но встречаются в сочинениях более поздних авторов - Витрувия, Герона и Паппа.

Прежде всего, как уже говорилось, речь может идти об изобретении Архимедом многоступенчатого редуктора и червячной передачи - механизмов, примененных Архимедом для перемещения корабля "силой одного человека". Плутарх назвал в качестве примененного Архимедом средства полиспаст. Но полиспаст упоминается в "Механических проблемах" и, следовательно, был изобретен до Архимеда. Это вовсе не означает, что Плутарх передал неверные сведения. Применение Архимедом полиспаста очень вероятно. Но простой расчет показывает, что для цели демонстрации Архимеда (перемещение судна одним человеком) одного лишь полиспаста для получения нужного выигрыша в силе недостаточно.

Действительно, триера весила около 200 т и, чтобы сдвинуть ее с места при благоприятных условиях, требовалась сила не меньше 20 т. Полиспаст мог применяться для того, чтобы увеличить число тянущих канатов и тем самым уменьшить их толщину. Но практически построить полиспаст с числом канатов, большим десяти, не удается (с увеличением количества блоков

быстро растут потери на трение). Поэтому для получения усилия в 20 т к его канату требовалось приложить силу не меньше 2 т, и передвижение корабля "силами одного человека" с помощью только полиспаста исключено. Зато в многоступенчатом редукторе "выигрыш в силе" с увеличением числа ступеней растет в геометрической прогрессии, а потери - т в арифметической, и коэффициент полезного действия получается намного выше. Поэтому канат полиспаста, как это делается и сейчас, должен был наматываться на барабан лебедки с многоступенчатым редуктором.

Следует, однако, отметить, что практического применения зубчатые редукторы в античную эпоху не нашли. Редуктор нужен при использовании быстроходных двигателей, а древняя техника вынуждена была ограничиваться силой людей и животных, которые не развивают большой скорости. Поэтому античная механика обходилась блоком и воротом, а если груз был очень велик, в канаты впрягались десятки и сотни людей. Поэтому, видимо, восходящие к Архимеду конструкции лебедок, описанные Героном и Паппом, имели чисто теоретический или "демонстрационный" характер.

Архимеда многие исследователи считают также изобретателем винта и червячной передачи. Принадлежность этих изобретений Архимеду кажется очень вероятной: от водоподъемного винта до обычного - один шаг. Атеней пишет, что Архимед сдвинул корабль "с помощью изобретенного им винта". Он же называет архимедову водоподъемную "улитку" "бесконечным винтом". В сочинениях Герона и Паппа описан винт не с гайкой, а с ползуном, который может скользить по расположенной вдоль винта линейке и имеет выступ, входящий между витками резьбы винта. Эта конструкция является даже для эпохи Герона (I в. н.э.) архаичной, так как в то время уже широко применялись винты с гайками (пресс с деревянным винтом и гайкой найден при раскопках сукновальной мастерской в Геркуланум). Винт с гайкой проще описанного Героном и может передать большую нагрузку. Возможно, что Героном была описана "устаревшая" конструкция двухсотлетней давности, заимствованная из какого-то сочинения Архимеда.

И винт, и червяк относятся к механизмам, не упомянутым в "Механических проблемах".

Есть еще один механизм, также не упомянутый в "Проблемах", который мы имеем право условно включить в список изобретений Архимеда. Это уже упоминавшееся устройство, описанное Витрувием под названием "амфирион". Механизм, о котором идет речь, состоял из барабана с обернутым вокруг него

канатом. Другой канат обертывался вокруг вала, держащего барабан. При сматывании первого каната с барабана второй канат наматывается на вал; при этом натяжения первого и второго канатов будут относиться как радиусы барабана и вала. Таким путем можно получить выигрыш в силе в 4...6 раз. Судя по книге Витрувия, это простое по конструкции и очень удобное устройство широко применялось в грузоподъемных машинах.

Так, практическая деятельность Архимеда стимулировала его научные исследования и давала возможность проверять на опыте результаты этих исследований.

Глава 4. Легенда о жгущих зеркалах

В 1747 г. французский натуралист и изобретатель Жорж Луи Бюффон писал: "История зажигательных зеркал Архимеда широко известна и знаменита. Он изобрел их для защиты своей родины. Древние говорят, что он направил солнечный огонь на вражеский флот и обратил его в пепел. Но подлинность этой истории, в которой не сомневались в течение пятнадцати или шестнадцати веков, была в последнее время подвергнута сомнению и даже признана фантастической. Декарт отрицал возможность подобного изобретения, и его мнение одержало верх над свидетельствами ученых и писателей античной эпохи. Современные физики разделяют его мнение. Древним они оставляли только то, чего нельзя у них отнять.

Как бы то ни было, это изобретение попало в ряд других многочисленных открытий древности, исчезнувших только потому, что современники предпочли легкий путь их отрицания тернистой дороге воссоздания; и зажигательные зеркала были настолько обесславлены, что о восстановлении их репутации, казалось, не могло быть и речи.

Чтобы "обжаловать" приговор Декарта, нужно было располагать более сильными аргументами, чем различные доводы. Поэтому противникам Декарта оставался лишь один способ, который действительно мог дать решительные результаты, но в то же время был очень трудным и отчаянным. Способ состоял в попытке воспроизвести зеркала с целью получить тот же эффект".

Надо сказать, что Бюффону удалось осуществить свой план и создать зеркало, которое зажигало дерево на расстоянии 50 м. Бюффон, желая решить загадку истории, поступил так же, как в наше время Тур Хейердал с его знаменитыми плаваниями на плоту "Кон-Тики" и камышовых "Ра". Он доказал, что такое в принципе было возможно, хотя, разумеется, это не равносильно доказательству, что такое было.

Чем же кончился спор о зажигающих зеркалах Архимеда?

Обратимся к литературе. В "Истории естествознания" Ф. Даннемана (1913 г.) читаем: "Против приступов флота осажденные боролись при помощи горящих головней. Позднейшие историки создали из этого совершенно невероятную басню, будто Архимед зажег суда осаждающих при помощи вогнутых зеркал". Перед нами полное отрицание реальных оснований легенды.

То же самое, хотя и в не столь грубой форме, можно прочесть в современной "Истории физики" Марио Льоцци, вышедшей в 1970 г.: "Предание о применении Архимедом зажигательных стекол для поджога римских кораблей является несомненно легендой более позднего происхождения".

В отношении ученых к зеркалам Архимеда можно отметить четыре стадии. Сперва, во время слепого доверия к античным источникам, рассказы о них считались истиной; делались попытки их реконструкции и теоретического обоснования. Однако в XVII в. в результате развития оптики Иоган Кеплер и Рене Декарт, великие ученые, работавшие в этой области, высказали теоретически обоснованные сомнения в возможности создания таких зеркал, и рассказы о них стали для науки легендой. Третий период, длившийся около ста лет - от опытов Бюффона, опровергших доводы Декарта, до середины прошлого столетия, возродил веру в реальность этого изобретения Архимеда. Новая полоса скептического отношения была связана уже с недоверием к историческим источникам, сообщавшим о зеркалах. Это недоверие опиралось на авторитет известного датского филолога Гейберга, который в конце прошлого и начале нашего века много занимался изучением наследия Архимеда и о реальности архимедовых зеркал высказался резко отрицательно.

В последних посвященных Архимеду работах этот вопрос уже даже не обсуждается.

Ниже мы рассмотрим исторические свидетельства, послужившие источниками легенды, и влияние этой легенды на развитие физики.

Источники легенды

Сохранилось всего три описания штурма Сиракуз: Полибия (II в. до н.э.), Тита Ливия (I в. до н.э.) и Плутарха (I в. н.э.). Ни в одном из этих рассказов нет упоминаний не только о сожжении кораблей зеркалами, но и вообще о применении огня.

Первые следы легенды обнаруживаются в литературе II в. н.э. Это упоминания, сделанные вскользь для украшения текста.

Греческий сатирик Лукиан, в шутливой речи по поводу открытия бани, говорит о важности союза теории и практики и в пример архитекторам он ставит Архимеда, который "при помощи

своего искусства сжег неприятельские корабли".

Другое упоминание содержится в сочинении "О темпераменте" знаменитого римского ученого-медика Галена. Описывая пожар, Гален рассказывает, что стена здания загорелась от жара пламени, и добавляет: "Таким же образом, говорят, и Архимед поджег триремы врага зажигательными зеркалами".

В обоих случаях о сожжении кораблей говорится как об общеизвестном факте, не требующем разъяснений, так что, очевидно, уже во II в. н.э. легенда была достаточно распространена.

Четыреста лет спустя вопрос о зеркалах Архимеда разбирает византийский ученый Анфимий из Тралл в сочинении "О чудесных механизмах". Сохранившийся отрывок из этого сочинения является не только источником, но и первым научным достижением, порожденным вестью об архимедовых зеркалах.

Анфимий жил в VI в. Он был математиком, скульптором и архитектором, строителем знаменитого Софийского собора в Константинополе.

В своем сочинении Анфимий стремится дать реконструкцию зеркал, исходя из радиуса действия, равного дальности полета стрелы. Это расстояние является для Анфимия одним из условий задачи, почерпнутом, видимо, из источников, которые до нас не дошли.

Анфимий пишет: "Требуемое расстояние казалось большим и представлялось невозможным получить воспламенение, но поскольку никто не мог оспаривать славу Архимеда, который сжег корабли римлян с помощью отражения солнечных лучей (в этом все сходились единодушно), то резонно было полагать, что задача могла быть решена с помощью принципов, изложенных ниже".

Анализируя задачу, Анфимий приходит к выводу, что решение кроется в применении системы плоских зеркал: "При помощи многих плоских зеркал можно отразить в одну точку такое количество солнечного света, что его объединенное действие вызовет загорание. Этот опыт можно сделать с помощью большого числа людей, каждый из которых будет держать зеркало в нужном положении.

Но чтобы избежать суматохи и путаницы, удобнее применить раму, в которой закрепить 24 отдельных зеркала с помощью пластин или, еще лучше, на шарнирах. Подставляя этот механизм солнечным лучам, надо правильно установить центральное зеркало, а потом и остальные, быстро и ловко наклоняя их... так, чтобы солнечные лучи, отраженные этими различными зеркалами, направлялись в ту же точку..."

В заключение Анфимий в подтверждение правильности своей реконструкции добавляет: "Следует заметить, что все прочие авторы, которые говорили о зеркалах божественного Архимеда, упоминали не об одном зеркале, но о многих".

О каких "прочих авторах" идет речь, мы не знаем, но, по-видимому, в то время было известно несколько не дошедших до нас исторических источников, сообщавших о факте поджога кораблей на расстоянии полета стрелы, но не дававших описаний устройства зеркала.

Что же касается научного значения реконструкции Анфимия, то она представляет собой единственный реальный вариант решения задачи. Анфимий предложил то, что в современной солнечной энергетике называется гелиоконцентратором.

Последние сообщения об архимедовых зеркалах (также византийские) относятся уже к XII в. Первое, незначительное, принадлежит Евстахию Солунскому, который в "Комментариях к Илиаде" пишет: "Архимед при помощи правил "катоптрики" сжег римский флот на расстоянии полета стрелы". Более подробный рассказ содержится в "Истории", составленной Цеци, который, как на источник, ссылается на Диодора Сицилийского. Цеци пишет: "Когда римские корабли находились на расстоянии полета стрелы, Архимед стал действовать шестиугольным зеркалом, составленным из небольших четырехугольных зеркал, которые можно было двигать при помощи шарниров и металлических планок. Он установил это зеркало так, чтобы оно пересекалось в середине зимней и летней солнечными линиями, и поэтому принятые этим зеркалом солнечные лучи, отражаясь, создавали жар, который обращал суда римлян в пепел, хотя они находились на расстоянии полета стрелы".

Совпадение ряда технических подробностей устройства зеркала у Цеци и в реконструкции Анфимия показывает, что Цеци использовал в своем описании эту реконструкцию.

Наконец, последнее, несколько загадочное сообщение сохранилось в "Анналах" Зонары. Вот его рассказ: "Этот геометр, собрав солнечные лучи на зеркале, с помощью этих лучей, собранных и отраженных затем толщиной и гладкостью зеркала, воспламенил воздух и разжег большое пламя, которое он затем направил на корабли, входившие в сферу его действия. Корабли были все обращены в пепел".

Этим, собственно, исчерпываются сведения об архимедовых зеркалах.

Споры и опыты

В отличие от историков ученые, занимавшиеся оптикой, воспринимали одно: великий геометр зажег солнечными лучами

дерево на расстоянии полета стрелы. Возможно ли это? И если это правда, то каким способом Архимед добился такого эффекта?

Первым, кто взглянул на легенду о зеркалах, как на задачу, был, по-видимому, Анфимий. Он предложил совершенно правильное решение, но, вероятно, не проверил его на опыте, требовавшем немалых затрат.

Реконструкция Анфимия в несколько искаженном виде стала известна в европейской науке через "оптику" польского математика XIII в. Вителия. Вителий рассказывает легенду о самом Анфимий, согласно которой архитектор, поссорившись со своим соседом ритором Зеноном, сжег его дом с помощью составного зеркала. Зеркало состояло будто бы из семи шестиугольных зеркал, одно из которых помещалось в центре, а остальные - по сторонам. Современник Анфимия, византийский историк Агафий рассказывает, что Анфимий, поссорившись с соседом Зеноном, напугал соседа и его гостей "грозой". "Гром" был вызван ударами по металлическим листам, а "молния" изображалась с помощью направленного на дом ритора солнечного зайчика.

По-видимому, первая попытка реализовать предложение Анфимия принадлежит немецкому математику и филологу Афанасию Кирхеру. В изданной в 1674 г. книге "Великое искусство света и тени" он рассказывает, что совмещал отражения солнца от пяти плоских зеркал и получил значительный нагрев, хотя и недостаточный для зажигания дерева. Правда, сам Кирхер, полностью веря в сожжение Архимедом кораблей врага, считал, что Архимед должен был применить что-то вроде знакомого нам "гиперболоида инженера Гарина", дающего параллельный пучок сконцентрированных лучей, способных зажигать дерево на любом расстоянии. Для образования такого пучка Кирхер предлагает трубчатое зеркало в виде усеченного параболоида вращения или систему из двух таких зеркал.

Однако еще за сорок лет до выхода книги Кирхера знаменитый французский философ и математик Рене Декарт (1596...1650) в своей "Диоптрике" убедительно показал, что свести солнечные лучи в точку, так же как и создать параллельный пучок жгущих лучей, невозможно. Поскольку Солнце - не световая точка, а диск с видимым угловым поперечником в 32', то любая точка зеркала отражает не луч, а конус лучей, пришедших из разных точек солнечного диска, имеющий при вершине угол 32'. Поэтому размер отражения, отброшенного зеркалом, независимо от его формы не может быть меньше хорды дуги 32', и чем дальше "зайчик" будет от зеркала, тем он будет крупнее и тем меньшей (при той же площади

зеркала) окажется его освещенность. "Зажигательное зеркало, диаметр которого меньше, чем сотая часть расстояния между ним и местом, где сосредоточиваются солнечные лучи... даже, если бы оно было отшлифовано ангелом, не может... нагреть то место больше, чем лучи, излучаемые непосредственно солнцем". Действительно, тангенс 32' равен примерно 0,01, и при таких соотношениях наименьший теоретически возможный размер "зайчика" не меньше поперечника зеркала и их освещенности сравняются.

Далее Декарт добавляет: "Только люди, не слишком сведущие в оптике, убеждены в реальности многих небылиц; эти зеркала, с помощью которых Архимед, якобы сжег издали корабли, либо были чрезвычайно велики, либо, что вероятнее, вовсе не существовали".

Авторитет Декарта и справедливость его рассуждений сделали свое дело. К середине XVIII в. зеркала Архимеда в научной среде стали считаться несомненной легендой, причем их легендарность обосновывалась невозможностью их осуществления.

И вот, ровно через 110 лет после выхода "Диоптрики" Декарта, в 1747 г. Бюффон опубликовал свой шестой мемуар - "Изобретение зеркал для воспламенения предметов на больших расстояниях". Это произведение Бюффона малоизвестно. Оно написано непосредственно перед началом его работы над знаменитой "Естественной историей", прославившей Бюффона как одного из первых эволюционистов в космогонии, геологии и биологии. И "Естественная история" настолько заслонила для потомков этот эпизод в жизни ученого, что о его опытах с зеркалами сравнительно быстро забыли. Тем не менее эти исследования представляют собой интересную страницу в истории гелиотехники и мы рассмотрим их достаточно подробно.

В своем шестом мемуаре Бюффон пишет: "Сначала я исследовал, насколько ослабевает солнечный луч при отражении на различные расстояния и какие вещества отражают его всего сильнее... Я нашел, что даже не очень тщательно отполированные амальгамированные зеркала несравненно лучше отражают свет, чем любые, прекрасно отполированные металлы".

Методику своих фотометрических экспериментов Бюффон излагает так: "Я поместился напротив стеклянного зеркала с книгой в руке в комнате, где царила совершенная ночь и где я не мог различить ни одного предмета; в соседней комнате на расстоянии примерно 40 футов я велел зажечь одну свечу; ее приближали ко мне до тех пор, пока я не стал различать буквы... В этот момент расстояние от свечи до книги составляло 24 фута.

Затем, повернув книгу в сторону зеркала, я пытался читать с помощью этого же, но уже отраженного света. Я велел при этом заслонить ширмой часть прямого света, не попадавшего на зеркало, чтобы на книгу попадал только отраженный свет. Свечу пришлось приблизить, что делалось постепенно до тех пор, пока я не смог читать те же буквы, освещенные отраженным светом; теперь расстояние от книги до свечи, включая расстояние от книги до зеркала... равнялось 15 футам... Отсюда я вывел, что сила, или количество, прямого света относятся к силе отраженного, как 576 к 225. Таким образом, действие света пяти свечей, отраженного плоским зеркалом, приблизительно равно действию прямого света двух свечей".

Выбрав в качестве основы стеклянные зеркала и решив воспользоваться для концентрации света группой плоских зеркал, ученый приступил к определению требуемых размеров зеркала.

Бюффон хотел построить зеркало с дальностью действия 240 футов. При этом диаметр "зайчика" не мог быть меньше 2 футов (66 см). Ученый вычислил, что зеркало должно иметь диаметр 216 футов (71 м!), что было неосуществимо. Но Бюффон не отступил и продолжал экспериментировать. "Зеркало, - писал он, - диаметром в три фута дает довольно сильный нагрев, достаточный для расплавления золота, и я решил посмотреть, что я выиграю, если заставлю его воспламенять всего лишь дерево". Новый диаметр проектируемого концентратора лучей оказался равным 30 футам (10 м). "Сооружение такого зеркала мне также представилось вещью невозможной, - пишет Бюффон и продолжает: - Имея такие резоны, которые, очевидно, свидетельствовали о невозможности существования зеркала, я не мог ничего противопоставить одному предположению... Это предположение заключалось в том, что действие тепла могло быть не пропорциональным количеству света, или, что то же самое, при одинаковой интенсивности большие "очаги" зажигают сильнее, чем малые".

И Бюффон смело нарушает границы геометрической оптики; он делает шаг вперед в понимании физики явления, предполагая, что рассеяние тепла заметно зависит от размера нагреваемой поверхности. Отбросив сомнения, он сооружает составное зеркало с площадью в 13 раз меньше расчетной. Предположения Бюффона оказались правильными - его зеркало смогло зажигать дерево на расстоянии 50 м.

Зеркало, построенное по указаниям Бюффона механиком Пассманом, состояло из 168 плоских стеклянных зеркал размером 16,2Ч21,5 см; общая отражающая площадь составляла 5,85 м2. Зеркала закреплялись на общей раме подвижно, что позволяло

сводить отраженные от всех зеркал солнечные лучи в заданную точку, меняя фокусное расстояние.

Вот как описывает Бюффон испытания своего прибора: "Первый опыт я провел 23 марта 1747 г.: с помощью всего лишь 40 зеркал я воспламенил буковую просмоленную доску на расстоянии 66 футов, т.е. я использовал только четвертую часть всего составного зеркала. Но здесь следует сказать, что зеркало еще не было установлено, поэтому его положение было очень неудобным, оно образовало с Солнцем угол около 20°.

Третьего апреля в четыре часа вечера зеркало было поднято и установлено на свою опору; при помощи 112 зеркал было произведено воспламенение доски, покрытой рубленой шерстью, на расстоянии 138 футов, хотя Солнце было очень слабым. Нужно быть осторожным, приближаясь к месту, где находятся воспламенямые предметы, и не смотреть на зеркало; если глаза окажутся в фокусе, человек будет ослеплен. 10 апреля после полудня при достаточно ярком Солнце воспламенили еловую просмоленную доску на расстоянии 150 футов всего лишь при помощи 128 зеркал; воспламенение произошло совершенно внезапно, причем на всей площади освещенного пятна. 11 апреля, поскольку фокус находился на расстоянии в 20 футов от зеркала, понадобилось только 12 зеркал, чтобы воспламенить мелкие горючие предметы. При помощи 21 зеркала зажгли буковую доску, с помощью 15 зеркал удалось расплавить большой сосуд олова, весом около 6 фунтов, 117 зеркалами были расплавлены тонкие листы серебра. Так как освещенное пятно при этом расстоянии достаточно велико - 6Ч7 дюймов, то появляется возможность ставить опыты в широком масштабе со всеми металлами, что было бы невозможно при использовании обычных зеркал, у которых "очаг" или очень слабый, или в сто раз меньше, чем у моего зеркала.

Я заметил, что металлы, и особенно серебро, дымят, прежде чем расплавиться. Дым бывал настолько сильным, что над землей образовывалась дымовая завеса, и именно здесь я мог наблюдать "очаг"; невозможно смотреть на него, когда свет падает на металл.

Для установки зеркала и совмещения всех отражений в одной точке нужно около получаса, но когда зеркало уже собрано, установлено и настроено, им можно пользоваться в любой момент, стоит лишь сдвинуть занавеску. Зеркало воспламеняет горючие вещества очень быстро...

Описанные мною опыты были проведены публично в Саду короля на горизонтальной площадке". (Садом короля назывался Парижский ботанический сад, директором которого Бюффон был с 1739 г.)

Опыты Бюффона говорят сами за себя. Не подлежит сомнению, что зеркало, подобное тому, которое он построил, было бы в эпоху Архимеда грозным орудием боя.

Но сам Бюффон не помышлял о военном использовании своего изобретения. Такая попытка в век огнестрельного оружия была бы бессмысленной. Для него зеркало - это прежде всего солнечная печь, источник "чистого" тепла, необходимый для химических опытов.

О том, насколько актуальной была эта проблема для науки того времени, говорит тема составленной в 1741 г. диссертации М.В. Ломоносова, которая называлась "Рассуждение о катоптрико-диоптрическом зажигательном инструменте". Инструмент Ломоносова состоял из ряда зеркал, которые направляли солнечные лучи на линзы, сводившие их в одну точку. Цель этой работы М.В. Ломоносов формулировал так: "Вознамерившись ввести в область химии приборы физиков, а также истины, ими открытые, чтобы до известной степени облегчить трудности, встречающиеся в этой науке... я счел за благо, по мере сил моих, уничтожить каким-либо способом упомянутые трудности и попытаться увеличить зажигательную силу этих приборов, которые прославлены столькими работниками, двинувшими вперед естествознание, и которые, я не сомневаюсь, придут на помощь в химических работах, требующих сильного огня...".

Опыты Бюффона вызвали большой интерес, в том числе и в России. В инструкции, данной Петербургской академией наук 11 августа 1747 г. советнику И.И. Таубергу, уезжавшему за границу, наряду с другими поручениями предлагалось "проведать о нововымышленном в Париже зеркале".

Так, весть о зеркале Архимеда дала в руки ученых на пороге нового времени важный инструмент для научного исследования, ставший позже прообразом многих гелиоустановок.

После успешных опытов Бюффона мнение о реальности архимедовых зеркал возродилось. Большую роль здесь сыграл французский историк и филолог Луи Дютан, который скрупулезно собирал упоминания античных авторов о различных древних изобретениях, в частности о зеркалах Архимеда. Он же разыскал и впервые опубликовал в 1768 г. отрывки из сочинения Анфимия "О чудесных механизмах".

Таким образом завершилась длившаяся столетия дискуссия. Вопрос о невозможности поджога кораблей зеркалами был снят и, кроме того, был создан (или воссоздан) мощный гелиоконцентратор.

Но со временем работы Бюффона были забыты и незаметно снова распространилось мнение о технической невозможности

существования архимедовых зеркал.

Совсем недавно интерес к легенде оживил опыт греческого инженера-механика Иоаниса Сакаса, проделанный в ноябре 1973 г. Гамбургская газета "Цайт" так описала опыт: "В порту Скараманга неподалеку от Афин по его (Сакаса) распоряжению выстроилось несколько десятков солдат. Каждый держал прямоугольное зеркало размером 91Ч50 см. На расстоянии около 50 м от берега поставили лодку, груженную смолой. По команде Сакаса солдаты несколько раз поднимали щитообразные зеркала - ученый искал нужный угол, чтобы сфокусировать солнечные лучи на лодке. И вдруг лодка задымилась, а затем вспыхнула ярким пламенем".

Итак, техника сказала свое слово. Что же может сказать история?

Было или не было?

В легендах о зеркалах нет сведений, которые противоречили бы истории или возможностям техники эпохи Архимеда. В источниках говорится о поджоге кораблей, а не о сожжении флота. Это не противоречит рассказу Полибия о штурме Сиракуз. Действительно, пожар на двух-трех, даже десяти кораблях не мог существенно повлиять на ход морской атаки, в которой только тяжелых кораблей участвовало 60.

Но на чем основано предположение об ограниченном применении сиракузянами "лучевого оружия"? Количество подожженных кораблей источники не указывают, и коль скоро жгущие зеркала были изобретены, они в принципе могли применяться и достаточно широко. Мог ли Архимед, планируя систему обороны, принять зеркала в качестве основного средства защиты? Очевидно, не мог. Ведь достаточно было врагам напасть в пасмурный день или ночью, и зеркала оказались бы бесполезными, тогда как метательные машины и "железные лапы" могли действовать в любых условиях. Поэтому массовое применение зеркал сомнительно.

Далее, упоминаемый в источниках радиус действия зеркал - дальность полета стрелы (50...100 м) - является вполне технически осуществимым. Реален и подход кораблей к стене на такое или даже более близкое расстояние во время попыток высадить десант.

Обратим еще внимание на то, что в источниках говорится о применении зеркал только против флота, хотя они могли повредить пехотинцам Аппия ничуть не меньше, чем морякам Марцелла, воспламеняя переносные укрытия, ослепляя и обжигая воинов. Однако взглянем на карту Сиракуз. Оказывается, положение Солнца по отношению к сражающимся исключало

применение зеркал против пехоты. Пешее войско наступало со стороны Гексапил - ворот, расположенных в центре северной стены города, и Солнце находилось за спиной их защитников, флот Марцелла, напротив, атаковал Ахрадину, район, обращенный на восток. Здесь Солнце светило со стороны моря, и условия для применения зеркал были наилучшими.

Стоит вспомнить и о том, что было всего два штурма Сиракуз - дневной и после его неудачи ночной. Не было ли в какой-то мере такое решение римлян вызвано желанием "обезвредить" зеркала?

Наконец, легенда приписывает постройку зеркал Архимеду - человеку, который действительно был способен их создать. Идея перехода от криволинейного зеркала к группе плоских кажется вполне естественной для Архимеда, часто применявшего в геометрических доказательствах замену кривых вписанными и описанными многоугольниками. У него было время для опытов и постройки самых разнообразных машин и сооружений, были средства, щедро отпускавшиеся Гиероном.

Таким образом, признание за легендой реальных оснований не требует пересмотра известной из источников картины штурма Сиракуз, а явится в ней лишь неким дополнением.

Вернемся снова к источникам легенды. Византийский историк Зонара, как уже говорилось, писал: "Этот геометр... воспламенил воздух и разжег большое пламя, которое он затем направил на корабли".

Откуда могла взяться в легенде такая деталь, как "горящий воздух"? Следует сказать, что зрелище, напоминающее "горение" воздуха, можно видеть на гелиоустановках, если в фокус крупного зеркала попадает дым. Освещенный собранными лучами Солнца, он выглядит как парящий в воздухе клубок огня.

Во время штурма над местом схватки могли оказаться и дым, и пыль от разрушаемых стен. Тогда действие зеркала Архимеда внешне выглядело бы именно так, как описывает Зонара, и именно так оно могло быть воспринято очевидцем, видевшим, но не понимавшим сути происходящего.

Основным возражением против реальности легенды остается отсутствие каких-либо упоминаний о зеркалах в трех дошедших до нас описаниях осады Полибия, Тита Ливия и Плутарха.

Молчание Полибия, писавшего всего через полстолетия после падения Сиракуз, кажется очень веским доводом против реальности зеркал Архимеда. На первый взгляд представляется совершенно невероятным, чтобы этот историк, всегда скрупулезно описывающий применявшуюся в той или иной битве военную технику, прошел бы мимо сообщений о применении зажигательных зеркал, если бы такие сообщения ему были известны.

Однако нельзя упускать из виду и другие особенности этого автора - его крайнюю недоверчивость. Представляется сомнительным, чтобы Полибий, например, принял всерьез рассказ, подобный сообщению Зонары.

Авторитет Полибия и его популярность были значительными. Его мнение для многих последующих историков несомненно имело большой вес, и поэтому можно не удивляться отсутствию упоминаний о зеркалах у Тита Ливия и Плутарха.

Таким образом, отсутствие упоминаний о зеркалах в источниках, посвященных осаде Сиракуз, не может считаться достаточно веской причиной для полного отрицания реальной основы легенды.

Итак, было или не было? Вопрос этот, разумеется, однозначно решить нельзя. Но во всяком случае поджог Архимедом кораблей с помощью жгущих зеркал из разряда событий, совершенно невероятных, следует перевести в категорию вполне возможных.

Глава 5. Архимед-астроном

Тит Ливий, как уже говорилось, назвал Архимеда "единственным в своем роде наблюдателем неба и звезд". И хотя астрономические сочинения ученого до нас не дошли, можно не сомневаться, что эта характеристика не случайна. Через четыре столетия после Архимеда на него ссылается наряду с Гиппархом

великий астроном античности Клавдий Птолемей (70...147) в связи с определением длины года. Значит, полученные Архимедом результаты были известны и оставались ценными для астрономов последующей эпохи. То, что осталось от астрономических сочинений Архимеда, разумеется, характеризует его вклад в астрономию далеко не полностью.

Мы знаем всего о трех астрономических работах ученого.

Во-первых, сам Архимед вскользь рассказал о своих измерениях углового диаметра Солнца и коснулся других астрономических вопросов в арифметическом сочинении "Псаммит". Во-вторых, христианский автор III в. Ипполит привел в своей книге "Опровержение всех ересей" значения расстояний между орбитами некоторых планет, взятых из какой-то утерянной позже работы Архимеда.

Наконец, в-третьих, сохранилось четыре разделенных столетиями упоминания о "небесном глобусе" Архимеда - своеобразном планетарии, который был одним из замечательных произведений античной механики.

"Псаммит" и античная астрономия

Слово "псаммит" обычно переводят как "исчисление песчинок". Оно имеет астрономическое содержание и арифметический характер, причем основной решаемой здесь задачей является описание изобретенного Архимедом способа записи очень больших, мы бы сказали, астрономических чисел и демонстрация действий с ними. Мы остановимся в основном на астрономических сторонах этой работы Архимеда.

"Псаммит" - одно из поздних произведений ученого, в котором он по существу пытался определить размеры солнечной системы (или, по представлениям того времени, размеры вселенной). Оно посвящено Гелону, сыну и соправителю Гиерона.

"Как ты знаешь, - обращается Архимед к Гелону, - большинство астрономов называют миром шар, центр которого совпадает с центром Земли, а радиус равен прямой, заключенной между центрами Солнца и Земли... Но Аристарх Самосский выпустил в свет книгу о некоторых гипотезах, из которых следует, что мир гораздо больше, чем понимают обычно. Действительно, он предполагает, что неподвижные звезды и Солнце находятся в покое, а Земля обращается по окружности круга... между Солнцем и неподвижными звездами, а сфера звезд... так велика, что круг, по которому... обращается Земля, так же относится к расстоянию до неподвижных звезд, как центр сферы к ее поверхности".

О каких системах мира говорит здесь Архимед?

Античные ученые достигли поразительных результатов в геометрическом истолковании видимых движений небесных тел,

оказав огромное влияние на последующее развитие астрономии и смежных наук.

Представления о шарообразности Земли и окружающей ее вселенной возникли в Греции в VII...VI вв. до н.э. При этом считалось, что шарообразный мир находился в непрерывном вращении.

Такая модель мира хорошо отражает суточное вращение неба. Ведь звезды находятся так далеко, что их взаимные перемещения научились улавливать только в середине прошлого века. Небесный свод ведет себя как цельная сфера, которая вращается вокруг "оси мира", проходящей через центр Земли.

Первая научная гипотеза о строении вселенной принадлежала школе Пифагора, возникшей в V в. до н.э. Она хорошо объясняла движение Солнца и изменение длительности дня в зависимости от времени года. Об этой гипотезе мы знаем только из более поздних упоминаний, и неизвестно, насколько детально она была разработана. Самым замечательным с современной точки зрения в ней было утверждение, согласно которому Земля вращается вокруг своей оси и движение Небес есть не что иное, как обман чувств. От этого утверждения потом отказались многие астрономы и философы.

Вообще же представления пифагорейцев сильно отличались от наших. В середине вселенной он поместил "центральный огонь", который назвал в честь богини священного огня Гестией. Солнце было лишь зеркалом, отражавшим свет Гестии. Но центр Земли по необходимости должен был тоже находиться в центре мира. Как совместить эти, казалось бы, несовместимые условия? И было предположено, что Земля не представляет собой единого тела, а состоит из двух независимых полушарий - Земли и Антиземли (Антихтона), разделенных по экватору неким просветом, через который жар священного пламени распространялся на небосвод. Античных географов такое предположение не смущало, так как считалось, что в районе экватора расположен необитаемый выжженный пояс. Наличие огня внутри Земли подтверждали вулканы. Так что гипотеза была по-своему стройной и логичной. Интересно, что во времена Архимеда у нее еще были приверженцы.

В V в. до н.э. в астрономических представлениях греков произошли существенные изменения. Во-первых, афинские астрономы Метон и Евктемон открыли, что дни весеннего и осеннего равноденствия делят год не на равные части. Это значит, что Солнце движется по небесному своду с непостоянной скоростью. Во-вторых, в Греции стали более широко известны результаты изучения движения планет, которое вели вавилонские

астрономы. Вавилоняне открыли, что планеты движутся среди звезд неравномерно, иногда останавливаются, делают попятные движения. Астрономы Вавилона знали и отклонения Луны и планет от эклиптики по широте.

Эта запутанная картина наблюдаемых движений светил требовала осмысления. Платон, считавший небо средоточием совершенства, а равномерное вращение совершеннейшим из всех видов движений, поставил задачу объяснения движения светил, исходя из равномерных вращений.

Первым эту задачу решил ученик Платона - знаменитый геометр Евдокс Книдский (408...355 гг. до н.э.).

По Евдоксу, Земля висела в центре мира, окруженная серией вложенных друг в друга концентрических сфер. Последователи Аристотеля считали сферы хрустальными, но для самого Евдокса они, скорее всего, были лишь математическими абстракциями. Светило располагалось на поверхности сферы, ось вращения которой наклонно закреплялась на следующей сфере и т.д. Сложение ряда вращений, происходящих в разных плоскостях, давало качественно верную картину небесных движений.

Но поскольку центры всех сфер совпадали с центром Земли, расстояние от нее до любого из светил считалось постоянным. Поэтому увеличение яркости Марса во время противостояний, свидетельствовавшее как будто о приближении планеты к Земле, в системе Евдокса не находило объяснения.

Младший современник Евдокса - Гераклид Понтийский (388...315 гг. до н.э.) объяснил это явление, построив систему, которая более правильно описывала мир. Его модель содержала элементы гелиоцентрической системы. Исходя из того что Меркурий и Венера никогда не отходят от Солнца дальше, чем на дугу определенного значения (Меркурий не переходит рубежа в 22°, а Венера - в 46°), Гераклид предположил, что они обращаются вокруг Солнца. Так, Гераклид ввел в астрономию понятие эпициклического движения, т.е. кругового обращения небесного тела относительно центра, который в свою очередь обращается вокруг Земли. По-видимому, по этим представлениям, вокруг Солнца обращался также Марс, а возможно, и остальные планеты. Их орбиты по отношению к Земле получались эксцентричными, причем равномерное движение по эксцентричной окружности хорошо объясняло непостоянство наблюдаемой с Земли скорости и попятные движения планет. Подобно Филолаю, Гераклид считал, что Земля вращается вокруг оси.

С точки зрения кинематики совершенно безразлично, обращается ли Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли, - расстояние между ними остается неизменным. Вопрос, находится

ли Земля в центре мира, всегда упирался в поведение "сферы неподвижных звезд". Она ведет себя так, словно ее центр совпадает с центром Земли (звезды неизменно сохраняют свое взаимное расположение). Простые законы перспективы указывают на то, что если бы Земля перемещалась внутри этой сферы, то созвездия, к которым она приближается, казались крупнее, в то время как на противоположной стороне неба созвездия выглядели бы "сжимающимися". Отсутствие таких явлений объяснялось расположением Земли в центре мира. Как потом стало ясно, это в действительности объясняется тем, что расстояния до звезд очень велики.

Такое предположение из всех астрономов древности высказал только старший современник Архимеда - Аристарх Самосский (310...250 гг. до н.э.).

Переданные Архимедом слова Аристарха о том, что орбита Земли так относится к расстоянию до звезд, как центр сферы к ее поверхности, отражают представление Аристарха об очень далеком расположении звезд.

Однако эта гениальная догадка в античной астрономии не получила поддержки. Вероятно, некоторых испугала нарисованная Аристархом бездна, другим казалось необоснованным утверждение, что звезды, так похожие по виду на планеты, должны быть признаны телами совсем другой природы, гораздо более яркими.

Эти же доводы полторы тысячи лет спустя явились основными научными возражениями против системы Коперника и побудили Тихо Браге предложить систему, кинематически равноценную гелиоцентрической, но свободную от этого "недостатка". В системе Тихо Браге, как и у Гераклида, планеты обращались вокруг Солнца, а само оно и сфера звезд - вокруг Земли.

Наконец, современник Архимеда - математик Апполоний Пергский (262...200 г. до н.э.), доказал, что движение по эксцентричной орбите равноценно движению по эпициклической, если радиус эпициклической орбиты равен расстоянию до центра эпицикла (деференту), а радиус эпицикла эксцентриситету (рис. 3).

Рис. 3. Изображение перемещений "верхней" планеты с помощью движений по эксцентру и эпициклу.

Планета М обращается вокруг Солнца С по окружности, которая по отношению к Земле О является эксцентром. То же движение можно представить в виде движения планеты М по эпициклу с центром А, который обращается по окружности с центром О (деференту)

Согласно этой гипотезе движение "верхних" планет можно описать, закрепив их на вращающихся сферах, центры которых обращаются вокруг Земли. Но в отличие от эпициклов Меркурия и Венеры, центром которых было Солнце, центры эпициклов остальных планет оказывались лишь математическими точками (рис. 4).

Рис. 4. Эпициклическая система мира

Этой схеме суждено было сыграть в истории астрономии огромную роль, так как именно ее положил в основу своей системы мира Клавдий Птолемей.

Создание основных моделей мира в эпоху Архимеда было закончено. Настало время наблюдений, уточнений схем, перехода от качественных оценок к получению количественных результатов. Через полстолетия после Архимеда Гиппарх сумел описать неравномерность скорости движения Солнца, предположив, что это движение совершается по эксцентрической орбите. Его работу использовал Птолемей, построивший удивительно точную и удобную для вычислений систему, в которой комбинация эпициклических и эксцентрических равномерных вращений описывала изменение скорости небесных тел на разных участках траектории не только качественно, но и количественно.

Система Птолемея была венцом античной астрономии. Прекрасное совпадение этой расчетной модели с данными наблюдений и большие возможности для уточнения объясняют ее долгую жизнь. Окончательно вытеснила ее только современная система, предложенная в XVII в. Иоганном Кеплером.

Но вернемся к работе Архимеда "Псаммит".

Для расчета расстояния до Солнца Архимеду надо было знать видимый угловой диаметр Солнца, и он описывает методику своих измерений. Это описание - очень редкий в сохранившейся античной литературе пример измерения с нахождением поправки на неточность наблюдений. Архимед пишет: "Аристарх нашел, что диаметр видимого диска Солнца составляет приблизительно семьсот двадцатую часть круга зодиака; в моих исследованиях я также пытался способом, изложенным ниже, при помощи инструментов найти угол, в который может вместиться Солнце, если взять вершину в глазу. Получить точное значение этого угла - дело нелегкое, потому что ни глаз, ни руки, ни приборы, при помощи которых производится отсчет, не обеспечивают достаточной точности".

Это очень важное замечание. Греческие астрономы и математики той эпохи при замечательном остроумии построений и расчетов не придавали должного значения точности

наблюдений. Методику своих измерений Архимед описывает так: "Поместив длинную линейку на отвесную подставку, расположенную в месте, откуда я предполагал наблюдать восходящее Солнце, обточив на токарном станке небольшой цилиндр и поставив его отвесно на линейку, я сейчас же после восхода направлял линейку на Солнце, когда оно находится близ горизонта и на него еще можно прямо смотреть, и помещал глаз у конца линейки; при этом помещенный между Солнцем и глазом цилиндр затенял Солнце. Отодвигая цилиндр от глаза, я устанавливал его в положение, когда Солнце начинало чуть-чуть появляться с обеих сторон цилиндра, Теперь если смотрящий глаз был как бы точкой и из места на конце линейки, где помещался глаз, были проведены касательные к цилиндру, то угол, заключенный между касательными прямыми, был бы меньше имеющего вершину в глазу угла, в который может вместиться Солнце, так как кое-что от Солнца усматривалось по обе стороны цилиндра; поскольку же глаз нельзя считать смотрящим как бы из одной точки, но из некоторой площадки, то я взял круглую площадку, по величине не меньшую зрачка, и поместил ее на конец линейки". В этом отрывке поражает недоверие ученого к органам чувств и его попытка учесть при измерении размеры зрачка. Архимед уже в то время сознавал, что абсолютной точности при измерении добиться нельзя.

Описав получение значения угла "не большего", чем диск Солнца, он рассказывает о нахождении значения угла "не меньшего": "Если на линейке отодвинуть цилиндр настолько, чтобы он полностью заслонял Солнце, и от конца линейки, где помещался глаз, провести прямые касательные к цилиндру, то угол... будет не меньше угла, в который могло бы вместиться Солнце".

Таким образом, Архимед получил два значения угла - 1/164 и 1/200 доли прямого угла, между которыми находится искомый видимый поперечник Солнца. Если перевести эти значения в наши меры, то получатся углы 35'55" и 27'. Действительный видимый поперечник Солнца (32') лежит в найденных Архимедом пределах, причем ближе к большему значению.

Приведенный отрывок дает представление об Архимеде как наблюдателе неба и о приборах, которыми пользовались астрономы того времени. Мы видим, что "угломер" Архимеда был очень примитивным, но методика измерений была безупречной. Увеличивая размеры цилиндра и линейки, можно было значительно сблизить границы, между которыми заключалась измеряемая величина. Интересно применение Архимедом "маски", заслоняющей Солнце, в форме цилиндра, а не в виде

прямоугольной планки. Очевидно, ученый хотел таким образом исключить ошибки, которые могли бы возникнуть при неперпендикулярности планки лучу зрения. Указание о том, что цилиндр должен быть выточен на станке, тоже имеет смысл: токарная обработка обеспечивает правильность его формы.

В "Псаммите" есть еще одно важное для истории астрономии место: получив видимый угловой диаметр Солнца, Архимед учитывает, что проводил наблюдения с поверхности Земли, а не из ее центра. При расчете расстояния между центрами Солнца и Земли он вносит соответствующую поправку. Это нововведение является важным вкладом в астрономическую науку.

"Числа Ипполита" и система мира Архимеда

Пожалуй, самым интересным в сохранившемся астрономическом наследии ученого являются приведенные в сочинении Ипполита двенадцать величин расстояний между планетами. Проделанный анализ этих чисел позволил частично восстановить примененную Архимедом методику определения размеров планетных орбит и воссоздать систему мира, которой он придерживался.

Ипполит был римским епископом и вел активную литературную полемику с различными "ересями", причем часто и подробно цитировал своих противников. Разбирая мнения разных астрономов о размерах мира, он привел величины межпланетных расстояний, вычисленных Архимедом.

Текст Ипполита, относящийся к Архимеду, можно условно разбить на три части. В первой приводятся восемь расстояний между орбитами небесных тел, причем не всегда ясно, от какой орбиты ведется отсчет: "Расстояние от поверхности Земли до лунной орбитам,.. Архимед (оценивает) в 554 мириады 4130 единиц стадий (1 стадий = 150...190 м. - Прим. ред.); от лунной до солнечной орбиты - стадий 5026 мириад 2065 единиц; от нее до орбиты Венеры - стадий 2027 мириад 2065 единиц, от нее до орбиты Меркурия..." (см. табл.).

Во второй части Ипполит говорит об архимедовых размерах "сферы неподвижных звезд". "Периметр же зодиака он принял четыре вторых числа 4731 мириада, таким образом получается, что расстояние от центра Земли до самой крайней поверхности будет шестой частью этого числа"... (Число я принимается равным трем.)

Числа Ипполита

№

Наименование расстояний (согласно тексту Ипполита)

Значения расстояний

Введенные обозначения

мириады (десятки тысяч) стадий
единицы стадий
1
От поверхности Земли до Луны
554
4130
a
2
От лунной до солнечной орбиты
5026
2069
b
3
От нее до орбиты Венеры
2027
2065
c
4
От нее до орбиты Меркурия
5081
7165
d
5
От нее до орбиты Марса
4054
1108
e
6
От нее до орбиты Юпитера
2027
5065
f
7
От нее до орбиты Сатурна
4037
2065
g
8
От нее до зодиака
2008
4009
h
9
Периметр зодиака

44731
i
10
От орбиты Сатурна до Земли
12160
4454
k
11
От Меркурия до Земли
5269
8259
l
12
От Венеры до Земли
5081
5160
m
13
Радиус Земли (дан без ссылки на Архимеда)
4
n

"Вторыми числами" в "Псаммите" Архимед называл мириады мириад, т.е. сотни миллионов. Это введенное им обозначение не прижилось, и поэтому упоминание "вторых чисел" подтверждает, что Ипполит привел данные, действительно принадлежащие Архимеду.

Наконец, в последней части отрывка приводятся архимедовы расстояния от трех планет до Земли: "От орбиты Сатурна до Земли, - как он говорит, будет вторых чисел одна единица 2160 мириад 4454 единицы стадий; от Меркурия до Земли 5268 мириад 8259 единиц; от Венеры до Земли 5081 мириада 5160 единиц".

Эти числа представляются как бы "лишними", так как их, казалось бы, можно вычислить из предыдущих. Но именно "избыточность" информации, заключенная в них, является, как мы увидим, решающей при анализе всей группы чисел.

Эти двенадцать чудом сохранившихся архимедовых чисел позволяют воссоздать хотя бы приблизительно облик "вселенной Архимеда".

В группе чисел, сохраненных Ипполитом, действительно удалось найти ряд математических соотношений.

Во-первых, некоторые из вычисленных Архимедом межпланетных расстояний кратны какому-то "модулю", равному 2027 мириадам стадий, который, по-видимому, является

радиусом орбиты Меркурия. Так, расстояние "до орбиты Марса" (e = 4054) вдвое больше "модуля", а расстояние "от орбиты Сатурна до Земли" (k = 12160) равно "модулю", взятому 6 раз (с точностью до двух мириад стадий).

Во-вторых, совершенно определенно очерчивается граница мира - небо недвижных звезд. Расчеты радиуса этой сферы двумя разными путями дают один и тот же результат. Действительно, если к радиусу орбиты Сатурна (числу k = 12160) прибавить расстояние до зодиака (h = 2008), то получится 14168. Если же поделить на ? число i = 44731, считая его полупериметром зодиака, получится для радиуса сферы неподвижных звезд 14 180 мириад стадий, т.е. значение, близкое к первому.

Наконец, в-третьих, "модуль" (число c = 2027), расстояние от Земли до Солнца A и не совсем понятное расстояние от Меркурия до Земли (число l) подчиняются теореме Пифагора.

Расстояние от Земли до Солнца состоит из радиуса Земли (числа n = 4), расстояния от ее поверхности до орбиты Луны (числа a = 554) и расстояния от лунной до солнечной орбиты, которым, видимо, является число d = 5081. Сумма этих чисел составляет A = 5640 мириад стадий.

Легко видеть, что

Действительно,

Для числа l в тексте приведено значение 5269. Таким образом, несовпадение составляет всего 5 мириад стадий.

Итак, если из отрезков A, c и l сложить треугольник, то он окажется прямоугольным, а угол между сторонами A и l будет равен 21°, что близко к углу наибольшего видимого отклонения Меркурия от Солнца. Найденное соотношение несомненно представляет собой след вычисления Архимедом радиуса орбиты Меркурия.

Если считать планету обращающейся вокруг Солнца, то размер ее орбиты легко вычислить, воспользовавшись перпендикулярностью касательной и радиуса, проведенного из центра в точку касания (рис. 5). Действительно, луч зрения земного астронома, наблюдающего планету в момент ее наибольшего видимого удаления от Солнца, будет касательным к орбите. Зная расстояние от Земли до Солнца (катет) и угол между этим катетом и гипотенузой (его можно измерить), легко вычислить длину второго катета, который и будет искомым радиусом орбиты. Этот способ годится для определения радиусов орбит так называемых "нижних планет" - Меркурия и Венеры.

Рис. 5. Схема определения относительного радиуса орбиты планеты

Числа Ипполита дают возможность воссоздать облик

"вселенной Архимеда" (рис. 6).

Рис. 6. Система мира Архимеда (указаны межпланетные расстояния в мириадах стадий). a = 554, d = 5081, A = 5640, c = 2027, h = 2007, n = 4

В ее середине находится Земля, вокруг нее обращаются Луна и Солнце. Орбиты трех ближайших планет - Меркурия, Венеры и Марса - очерчены вокруг него. Радиусы планетных орбит кратны между собой и относятся как 1:2:4. Интересно, что эти соотношения близко отражают действительность. По данным Архимеда, относительное (по сравнению с расстоянием от Земли до Солнца) значение радиуса орбиты Меркурия составляет 0,36 (в действительности 0,39, ошибка 8%), орбиты Венеры 0,72 (совпадает с действительным), Марса 1,44 (в действительности 1,52, ошибка 5%). Такое совпадение не может быть случайным, ясно, что радиусы орбит этих планет получены на основе наблюдений с высокой по тем временам точностью. (Правда, расчеты Архимеда, относящиеся к другим планетам, оказались неверными.) Таким образом, числа Ипполита свидетельствуют о наиболее раннем из известных науке определении межпланетных расстояний. Оно удалось Архимеду потому, что он исходил из удачной модели, считая орбиты этих планет гелиоцентрическими.

Интересной особенностью системы мира Архимеда является пересечение орбит Сатурна и Юпитера с орбитой Марса. Это построение, хотя и является неверным, помогает нам судить о физических представлениях ученого. Такое пересечение орбит совершенно исключает гипотезу цельных сфер, несущих небесные тела, и определенно говорит о том, что Архимед представлял себе планеты как отдельные тела, летящие в пространстве.

Небесный глобус Архимеда

Видевшие глобус отзывались о нем с восхищением. Сам Архимед, вероятно, высоко ценил это свое детище, так как написал об устройстве глобуса специальную книгу, которая, к сожалению, до нас не дошла. О небесном глобусе Архимеда мы можем судить только по сохранившимся упоминаниям.

Самое раннее упоминание о глобусе Архимеда относится к I в. до н.э.

В диалоге знаменитого римского оратора Цицерона "О государстве" разговор между участниками беседы заходит о солнечных затмениях, и один из них рассказывает: "Я вспоминаю, как я однажды вместе с Гаем Сульпицием Галлом, одним из самых ученых людей нашего отечества... был в гостях у Марка Марцелла... и Галл попросил его принести знаменитую "сферу", единственный трофей, которым прадед Марцелла пожелал

украсить свой дом после взятия Сиракуз, города, полного сокровищ и чудес. Я часто слышал, как рассказывали об этой "сфере", которую считали шедевром Архимеда, и должен признаться, что на первый взгляд я не нашел в ней ничего особенного. Более красива и более известна в народе была другая сфера, созданная тем же Архимедом, которую тот же Марцелл отдал в храм Доблести. Но когда Галл начал с большим знанием дела объяснять нам устройство этого прибора, я пришел к заключению, что сицилиец обладал дарованием большим, чем то, каким может обладать человек. Ибо Галл сказал, что... сплошная сфера без пустот была изобретена давно... но, - сказал Галл, - такая сфера, на которой были бы представлены движения Солнца, Луны и пяти звезд, называемых... блуждающими, не могла быть создана в виде сплошного тела; изобретение Архимеда изумительно именно тем, что он придумал, каким образом при несходных движениях во время одного оборота сохранить неодинаковые и различные пути. Когда Галл приводил эту сферу в движение, происходило так, что на этом шаре из бронзы Луна сменяла Солнце в течение стольких же оборотов, во сколько дней она сменяла его на самом небе...".

В III в. н.э. о глобусе упоминает римский христианский писатель Лактанций. Воспользовавшись глобусом как материалом для риторического украшения, Лактанций достаточно много говорит о возможностях прибора: "Я вас спрашиваю, ведь мог же сицилиец Архимед воспроизвести облик и подобие мира в выпуклой округлости меди, где он так разместил и поставил Солнце и Луну, что они как будто совершали каждодневные неравные движения и воспроизводили небесные вращения; он мог не только показать восход и заход Солнца, рост и убывание Луны, но сделать так, чтобы при вращении этой сферической поверхности можно было видеть различные течения планет..."

Последнее упоминание о глобусе принадлежит римскому поэту V в. Клавдиану. Клавдиан воспел архимедов глобус в стихах незадолго до захвата Рима готами. Само появление такого стихотворения показывает, что в эпоху крушения империи, упадка наук и распространения мистицизма глобус Архимеда был для людей символом могущества человеческого разума. Тон стихотворения не оставляет сомнений в том, что Клавдиан видел архимедов глобус в действии (больше чем через 600 лет после его создания!):

Неба устав, законы богов, гармонию мира
Все Сиракузский старик мудро на землю принес.
Воздух, скрытый внутри, различные движет светила
Точно по дивным путям, сделав творенье живым.

Ложный бежит зодиак, назначенный ход выполняя,
Лик поддельный Луны вновь каждый месяц идет.
Смелым искусством гордясь, свой мир приводя во вращенье,
Звездами вышних небес правит умом человек.

В приведенных отрывках бросается в глаза изумление перед этим творением Архимеда. Для Цицерона создание подобного глобуса доступно лишь ученому, обладающему "дарованием большим, чем то, каким может обладать человек". Клавдиан восхищается мудростью ученого, как бы укравшего у богов тайны "гармонии мира". Причем "чудесность" глобуса связывается не с его внешним видом, а с внутренним устройством. Об этом говорит и Цицерон.

Основой механического глобуса Архимеда был обычный звездный глобус, на поверхность которого наносятся звезды, фигуры созвездий, небесный экватор и эклиптика - линия пересечения плоскости земной орбиты с небесной сферой. Вдоль эклиптики расположены 12 зодиакальных созвездий, через которые движется Солнце, проходя одно созвездие в месяц. Не выходят за пределы зодиака и другие "блуждающие" небесные тела - Луна и планеты (их орбиты лежат примерно в той же плоскости, что и земная). Глобус закрепляется на оси, направленной на полюс мира (полярную звезду), и погружается до половины в кольцо, изображающее горизонт. Созвездия показаны на нем зеркально. И для того чтобы представить себе, как они выглядят на небе, надо мысленно перенестись в центр шара. Звездный глобус использовали как подвижную карту звездного неба. Зная, в каком созвездии будет находиться в момент наблюдения Солнце (например, июль оно проводит в созвездии Рака, август - в созвездии Льва, сентябрь - в созвездии Девы и т.д.), глобус вращали до тех пор, пока это созвездие не заходило за круг горизонта. Такому положению глобуса соответствовал вид звездного неба вечером. Поворачивая шар на нужные углы, можно было легко узнать вид неба в любое время. Естественно, что какая-то часть шара никогда не оказывалась выше горизонта; в этой части находились созвездия южного полушария, неизвестные ученым того времени.

Солнце, Луна и звезды на обычном звездном глобусе отсутствуют, их невозможно изобразить, так как они непрерывно меняют свое положение по отношению к звездам. Архимеду как раз и удалось решить эту задачу. Заставив с помощью специальных механизмов перемещаться макеты светил, он создал своеобразный планетарий, демонстрировавший все видимые движения небесных тел и даже фазы Луны.

Зная возможности архимедова глобуса, можно в какой-то

мере судить о его конструкции. Такая попытка реконструкции была сделана, и сейчас мы с большой долей вероятности можем представить себе, как он был устроен.

По-видимому, вдоль круга зодиакальных созвездий в медной обшивке сферы были прорезаны продолговатые окна, за которыми перемещались макеты светил. "Светила" приходили в движение, когда глобус начинали вращать. При этом "... "Луна" сменяла "Солнце" в течение стольких же оборотов, во сколько дней она сменяла его на самом небе..." (Цицерон), т.е. движения глобуса и светил были кинематически связаны между собой в соответствии с действительными соотношениями скоростей небесных тел. Так, за один оборот глобуса "Луна" должна была перемещаться на 1/27 долю окружности в направлении, противоположном направлению его вращения, в то же время "Солнце" должно было проходить за "Луной" путь, примерно в 12,5 раза меньший. Такого эффекта можно добиться, поместив внутри глобуса ось, перпендикулярную эклиптике, и закрепив на ней держатели с макетами светил. Держатели должны были быть связаны между собой с помощью многоступенчатых зубчатых передач, разработанных Архимедом.

Для того чтобы представить себе, как мог Архимед показать на своем глобусе фазы Луны, можно обратиться к старинным часам. Многие стенные и настольные часы XIX в. имели механизмы, изображавшие лунные фазы. При этом применялись два способа их изображения: с помощью наполовину зачерненного шара, который поворачивался на оси, или с помощью шторки, прикрывавшей изображение лунного диска. Первый способ дает более точное изображение фаз Луны. Любопытно, что в древности существовала гипотеза именно такой природы лунных фаз. Витрувий сообщает, что вавилонский астроном Берос учил, что "Луна есть шар наполовину блестяще-белый, наполовину лазоревого цвета". Фазы, как он считал, происходили из-за вращения Луны. При этом Витрувий тут же излагает и правильное объяснение лунных фаз, данное Аристархом Самосским. При использовании шторки точное изображение фаз невозможно; в ряде случаев вместо "вогнутого" серпа получается выпуклость, что, впрочем, нисколько не смущало часовщиков. Оба способа мог применить и Архимед, связав зубчатой передачей шарик или шторку с держателем "Солнца".

Сложнее должно было обстоять дело с планетами. Их движение неравномерно: иногда планеты останавливаются, идут назад, потом снова устремляются в прежнем направлении, чертя среди звезд характерные петли.

Для воспроизведения планетных движений Архимед мог воспользоваться астрономическими построениями Евдокса. Знаменитый геометр показал, что сложное движение планеты можно разложить на равномерное движение вдоль эклиптики некоего центра и колебательное движение небесного тела относительно этого центра. Такое движение могло осуществляться с помощью особого планетарного механизма. По-видимому, в глобусе использовался и пневматический привод в виде сопел и воздушных турбинок, причем, скорее всего, он применялся для вращения механизмов колебательного движения "планет". Воздух, вероятно, должен был нагнетаться насосом или воздушными мехами, когда глобус начинали вращать.

Разумеется, описанная конструкция не претендует на полную достоверность; это одно из возможных решений задачи создания механического "планетария", позволяющее оценить сложность проблем, с которыми должен был столкнуться Архимед.

В античную эпоху не существовало механизмов, по сложности хоть сколько-нибудь близких к "архимедовой сфере". Этим и объясняется восхищение писавших о ней авторов, которые, вероятно, несколько переоценивали ее сложность.

О том, что у Архимеда были продолжатели, свидетельствуют найденные остатки астрономических часов (или подвижного астрономического календаря), относящихся к I в. до н.э. Части этого прибора были найдены в 1900 г. на поднятом со дна моря недалеко от острова Антикитира античном корабле. Эти части были покрыты толстым слоем отложений. Началась кропотливая работа по расчистке и реконструкции прибора, которая продолжалась не одно десятилетие и полностью не закончена до сих пор. Прибор представлял собой бронзовую коробку, в которой помещалось несколько дисков, соединенных сложной системой зубчатых колес. На дисках сохранились следы обозначений знаков зодиака, месяцев, градуировок. Антикитирский прибор может представлять собой "плоский" вариант архимедова глобуса.

Книга Архимеда об устройстве небесного глобуса, содержавшая описание его механизмов, была известна долгое время. Поэтому вполне вероятно, что многое в конструкции механических часов, родиной которых является Византия, было подсказано Архимедом - создателем механического небесного глобуса.

Таким образом, Архимед предстает перед нами и как астроном-наблюдатель, и как теоретик, и как конструктор астрономических приборов.

Мы видим, что и в астрономии Архимед проявил замечательную широту интересов и стремление соединить

абстракцию и конкретность, теорию и практику. Он наблюдал небо, занимался сложными теоретическими построениями, провел громоздкие расчеты для определения размеров вселенной.

В книге "Измерение круга" Архимед с высокой точностью вычислил число ?, определив, что оно больше, чем 3,1408, но меньше, чем 3,1428.

Знание этого числа было прежде всего необходимо для нужд астрономии (для других целей в то время было вполне достаточным считать это число равным 3).

Но кроме занятий астрономией, Архимед заботился и о распространении астрономических знаний, для чего им и был создан первый в истории планетарий, много столетий бывший непревзойденным творением практической механики.

Глава 6. Последние годы

Биографии Архимеда нет. Но сохранился рассказ римского писателя Тита Ливия о событиях в Сиракузах накануне осады города римлянами, его штурме и падении. Архимед упоминается в этом рассказе как один из руководителей обороны города. Многие драматические события, описанные Ливием, возможно, произошли на его глазах, и, конечно, все происходившее должно было глубоко волновать великого ученого и главного военного инженера сиракузской крепости.

Мы приведем здесь отрывки из XXIV книги "Истории" Тита Ливия и постараемся разобраться в перипетиях внутренней борьбы в Сиракузах, которая непосредственно касалась Архимеда и, вероятно, была главным содержанием последних лет его жизни.

Рассказ Ливия о сиракузских событиях начинается со смерти Гиерона, случившейся в 215 г. до н.э., т.е. на четвертом году 2-й Пунической войны. Ливий пишет: "В том же году умер Сиракузский царь Гиерон, верный союзник римского народа, и положение римлян в Сицилии резко переменилось. Царство перешло к внуку Гиерона Гиерониму, еще совсем мальчику ! и вдобавок безнадежно испорченному дурными друзьями, а потому неспособному распорядиться не только ничем неограниченной властью, но даже самим собою. Гиерон предвидел, что в руках внука Сиракузское государство может погибнуть. Но лучшего наследника у него не было, и уже незадолго до смерти он решил дать Сиракузам свободу. Этому, однако же, изо всех сил воспротивились его дочери, которые рассчитывали, что Гиероним будет правителем только по имени, а на деле править станут они и их мужья Адранодор и Зоипп. Нелегко было девяностолетнему старцу спорить с любимыми дочерьми, не покидавшими его ни днем ни ночью. Кончилось тем, что он назначил внуку пятнадцать

опекунов...

Нрав нового правителя обнаружил себя не только во внешнем его обличий, но и в том, как презрительно и грубо он со всеми обходился, как надменно выслушивал просьбы, как редко допускал к себе не только чужих, но даже опекунов, в неслыханной его распущенности и жестокости. Очень скоро всеми овладел такой страх, что иные из опекунов, опасаясь мучительной казни, покончили с собой, иные бежали. Доступ к царю сохранили только трое Адранодор, Зоипп и некий Трасон. Андранодор и Зоипп держали сторону Карфагена, Трасон стоял за дружбу с Римом, и они часто ссорились между собой, а Гиеронима их споры и столкновения развлекали.

Но случилось так, что друг и сверстник царя узнал о заговоре, который составился против Гиеронима. Известен был только один из заговорщиков. Его арестовали и начали пытать, чтобы он выдал соучастников. Человек этот отличался и мужеством, и преданностью товарищам и потому, когда муки сделались нестерпимыми, решил солгать и вместо виновных назвал людей, совершенно к заговору непричастных, и первого - Трасона. Гиероним поверил и немедленно казнил Трасона. Таким образом, единственная дружеская связь между Сиракузами и Римом распалась и уже никто не помешал друзьям карфагенян отправить посольство к Ганнибалу".

Здесь Ливий старается показать непричастность римской партии к первому заговору против Гиеронима, но его версия выглядит неубедительно. В византийской хрестоматии в разделе "О посольствах" сохранился отрывок из "Истории" Полибия о посольстве сиракузян к Ганнибалу. Он начинается словами: "После покушения на Гиеронима и смерти Трасона..." Между тем Ливий о покушении ничего не говорит. Видимо, он старался смягчить этот компрометирующий Рим эпизод.

Что же двигало сторонниками карфагенской и римской партий? Победы Ганнибала при Тразиментском озере и Каннах ослабили Рим, и Сиракузы, подобно многим другим греческим городам, получили возможность завоевать самостоятельность. Союз Сиракуз с Римом был союзом побежденного с победителем. Он был основан на военной победе римлян в начале 1-й Пунической войны; его приходилось "подтверждать" щедрыми подарками, что унижало достоинство некогда великого города. Кроме того, наступил момент, когда война между Карфагеном и Римом должна была перекинуться на Сицилию. В этой борьбе Сиракузы также имели шанс расширить свои владения, но это было возможно сделать только в союзе с Карфагеном: ведь большая часть Сицилии находилась под властью Рима.

Такие патриотические настроения вдохновляли руководимую членами "дома" Гиерона карфагенскую партию, которой, видимо, должен был сочувствовать Архимед.

Римскую партию возглавляла старая аристократия, оттесненная не принадлежавшим к ней Гиероном. Для нее союз с Римом был главной опорой в борьбе за власть. Но конечно, немалую роль играл и страх перед могущественным, жестоким и мстительным "союзником".

На первом этапе карфагенская партия взяла верх, открыто порвав с Римом. Но миссия дружбы была послана не в Карфаген, а в Италию" в лагерь Ганнибала.

О дальнейших событиях Ливий повествует так: "Пуниец (Ганнибал) прислал ответное посольство, и договор был заключен. Двое послов, к большому удовольствию Ганнибала, остались при Гиерониме. Они родились в Карфагене, но происходили от грека, сиракузского изгнанника. Звали их Гиппократ и Эпикид.

Прибыли послы и от римского правителя Сицилии - претора Аппия Клавдия. Они заявили, что хотят возобновить союз, который был у Рима с Гиероном. Гиероним не дал им никакого ответа и только спросил насмешливо: "Чем там у вас кончилась битва при Каннах?..".

Римляне предупредили сиракузского царя, чтобы он не торопился с изменою. Приближенные Гиеронима выехали в Карфаген, где договорились о том, что пунийцы высадятся в Сицилии и вместе с сиракузянами прогонят римлян, а затем новые друзья и союзники поделят остров пополам, так что границею между их владениями будет река Гимера".

С этого времени в Сиракузах появляется наемное войско, которое сыграло в последующих событиях немалую роль. В сиракузском войске оказалось много "римских перебежчиков", что вызвало особую ярость римлян. Вероятно, это были воины, сосланные в Сицилию после битвы при Каннах в 216 г. до н.э. История их такова. Остатки разбитого Ганнибалом войска скопились в двух укрепленных лагерях, и перешедшие в лагерь на левом берегу реки Ауфиды обвинили воинов, оставшихся на правом берегу, где был и лагерь Ганнибала, в измене и желании сдаться врагу. По этому, скорее всего несправедливому, обвинению несколько тысяч человек были разжалованы и отправлены в Сицилию до конца войны без права производства в офицеры. Часть этих обиженных и желавших отомстить правителям Рима людей и пришла под знамена Сиракуз.

"Впрочем, все внезапно расстроились, - продолжает Ливий, - царь с войском явился в город Леонтины, и там возник новый

заговор - среди солдат и младших начальников. Заговорщики заняли под постой свободный дом на узкой улочке, по которой Гиероним каждый день ходил на городскую площадь. Все засели там, держа оружие наготове, а одному (по имени Диномен) велели стать у дверей и, как только царь пройдет мимо, загородить под каким-нибудь предлогом дорогу свите: Диномен и сам принадлежал к царским телохранителям, а потому мог вызвать меньше подозрений, чем любой другой. Диномен сделал вид, будто хочет ослабить слишком туго затянутый узел на сандалии... Свита замешкалась, и Гиероним оказался в одиночестве, без провожатых. Сразу несколько мечей вонзилось в него, и он упал. Тут же притворство Диномена открылось, телохранители метнули копья, и он получил две раны, но все-таки ушел живым. А царь был мертв, и, убедившись в этом, телохранители мигом разбежались.

Часть убийц бросилась на площадь к народу, который ликовал, узнав о случившемся, часть поспешила в Сиракузы, чтобы застать врасплох царских приверженцев...

В Леонтинах сразу после смерти Гиеронима едва не вспыхнул мятеж среди солдат, которые грозились омыть тело убитого в крови убийц. Но сладкое для слуха слово "свобода", а еще более надежда на щедрые раздачи из царской казны и, наконец, перечень гнусных злодеяний тирана изменили настроение умов до такой степени, что царя, которого еще минуту назад горько оплакивали, теперь бросили без погребения.

Пока большая часть заговорщиков успокаивала солдат, двое взяли коней из царской конюшни и помчались в Сиракузы. Однако же они опоздали: их опередила не только молва, с которой никому не сравниться в быстроте кто-то из царских слуг успел обо всем предупредить Адранодора, и тот занял Остров и Крепость. Заговорщики добрались до города уже в сумерках. Потрясая окровавленным платьем царя и его короной, они проехали через Тиху и всех встречных призывали к оружию и к свободе. Люди высыпали на улицы, толпились в дверях домов, смотрели с крыш, выглядывали из окон, расспрашивали, что случилось. Повсюду загораются огни, все шумит и гудит. Вооруженные собираются на площадях и пустырях... Присоединяются к караулам, которые уже успели расставить старейшины кварталов...

Едва рассвело, весь народ сошелся в Ахрадину, к зданию Совета. Один из первых и самых влиятельных граждан, по имени Полиен, сказал речь разом и откровенную, и сдержанную. "Мерзость рабства, - сказал он, - хорошо известна и ненавистна сиракузянам, но существуют еще гражданские раздоры, и они

тоже ужасны, хотя знакомы нам только понаслышке. Хорошо, что мы так проворно взялись за оружие, но будет еще лучше, если мы воспользуемся им лишь в крайней необходимости. Адранодор должен подчиниться Совету и народу, и только, если он замыслил сам сделаться царем, только тогда надо начать с ним борьбу всеми силами и всеми средствами".

К Адранодору тут же отряжают послов. Сам он был испуган единодушием народа, но супруга его недаром была дочерью царя и всю жизнь провела в царском дворце. Она отвела мужа в сторону и напомнила ему знаменитые слова древнего тирана Дионисия, что с властью нужно расставаться только тогда, когда тебя поволокут за ноги, а не когда сидишь верхом на коне.

- Возьми у них сроку на размышление, - шептала она, - а тем временем прибудут солдаты из Леонтин, ты посулишь им денег, и все будет тебе покорно.

Адранодор, однако ж, не принял совета жены... На другой день... он положил к ногам заговорщиков ключи от ворот и ключи от царской сокровищницы. Все разошлись довольные и счастливые, а назавтра собрались снова, чтобы выбрать правителей города.

В числе первых избранными оказался Адранодор, а также убийцы Гиеронима, некоторые из них - те, что оставались в Леонтинах, - заочно.

Гиппократ и Эпикид, посланцы Ганнибала... сами пришли к новым правителям, а те представили их Совету. Здесь карфагеняне объяснили, что они повиновались Гиерониму, исполняя приказ своего командующего, который за тем их и прислал. Теперь они хотят вернуться к Ганнибалу, но Сицилия полна римлян, и они опасаются за свою жизнь. Пусть им дадут охрану и проводят малой этой услугой Сиракузы заслужат большую благодарность Ганнибала.

Совет без спора согласился... Но необходимой в таком деле расторопности сиракузяне не обнаружили, а между тем Гиппократ и Эпикид исподволь сеяли обвинения против Совета и лучших граждан.

Знатные - так они утверждали повсюду, где только могли, - мечтают подавить простой народ и ради этого задумали привести в Сиракузы римлян".

Итак, римская партия совершила переворот, но к власти ей прийти не удалось, так как симпатии большинства были на стороне карфагенян. Ливий обвиняет карфагенских послов в клевете против проримской аристократии, но последующие события покажут, что убийцы Гиеронима не сложили оружия. И хотя учиненную ими резню они оправдывали раскрытием

заговора, более чем вероятно, что все это, включая "свидетельские показания Аристона", было заранее подстроенным обманом.

После сообщения о росте популярности Гиппократа и Эпикида Ливий рассказывает о доносе актера Аристона, который сообщил о намерении Андранодора и Фемиста (мужа внучки Гиерона) захватить власть.

"...С одобрения старейшин, - продолжает Ливий, - правители поставили стражу у дверей Совета, и как только Фемист и Адранодор вошли, их тотчас умертвили. Все прочие советники, кроме старейшин, понятия ни о чем не имели, и в Совете началось отчаянное смятение, но правители, водворив кое-как тишину, вывели вперед Аристона, и он рассказал все по порядку и очень подробно...

Тут Совет успокоился окончательно, но на площади бушевала толпа, которая еще не знала, что произошло, и только чувствовала перемены. Звучали уже и проклятия, и угрозы, однако, когда двери распахнулись, и все увидели трупы заговорщиков, народ онемел от ужаса и молча выслушал речь, которую произнес один из правителей. Он обвинил убитых во всех злодеяниях, совершавшихся в Сиракузах после смерти Гиерона... Правители предложили закон: весь царский дом предать смерти. И он был немедленно принят народом. Толпа грозно ревела и разошлась не прежде чем был назначен день для выборов новых правителей взамен Адранодора и Фемиста".

Казалось бы, римская партия одержала верх. Но если ей удалось это в Совете, то народное собрание решило по-своему.

"Когда день этот настал, - продолжает Ливий, - кто-то из задних рядов неожиданно для всех выкрикнул имя Гиппократа, кто-то еще Эпикида, и скоро вся площадь дружно повторяла эти имена. Остальные правители сперва пытались делать вид, будто не слышат этих криков, но в конце концов были вынуждены признать и утвердить выбор народа...

И, однако, к Марцеллу - он уже прибыл в Сицилию - выехали послы с предложением возобновить прежний договор: Гиппократ с Эпикидом не смогли этому воспрепятствовать. Марцелл выслушал сиракузян и отправил ответное посольство, но положение тем временем переменилось. Карфагенский флот подошел к Пахину (южная оконечность Сицилии), Гиппократ и Эпикид набрались прежней самоуверенности и, не таясь, заявляли, что знать предает Сиракузы Риму. А тут еще, совсем некстати, у входа в гавань бросили якорь римские суда - это римляне хотели ободрить своих приверженцев, - и толпа кинулась к берегу моря, чтобы помешать высадке незваных гостей".

Марцелл начал с военной демонстрации или с попытки

захватить город. В городе продолжаются раздоры между карфагенской и римской партиями. Призывая подчиниться римлянам, один из граждан говорил на народном собрании: "Не забывайте, что расторгнуть дружбу с ними безнаказанно невозможно. А если мы отклоним дружбу карфагенян, это нам немедленно войною не грозит". Осторожность взяла свое, и Марцеллу опять заявили о желании сохранить мир. Но Марцелл был склонен к решительным действиям: "Немного дней спустя, пишет Ливий, - прибыли послы леонтинцев просить военной силы для защиты своих границ. В Леонтины выступил Гиппократ с отрядом римских перебежчиков, к которым... присоединились наемники".

Область Леонтин, входивших в Сиракузское государство, граничила только с римскими владениями, и защита леонтинцам могла требоваться только от римлян.

Ливий продолжает: "Гиппократ несколько раз делал набеги на римские владения, - правда украдкою, - а когда Аппий Клавдий, легат Марцелла, выставил вооруженный караул, карфагенянин напал открыто и многих поубивал. Марцелл тут же посылает в Сиракузы заявить, что мир нарушен и не будет восстановлен до тех пор, пока Гиппократ и Эпикид не оставят пределы Сицилии". Это был первый ультиматум Марцелла. Правители Сиракуз немедленно приняли требования римлян. Их представители потребовали у Леонтин изгнания Гиппократа и Эпикида. Но тут снова выяснилось, что власть римской партии была фиктивной - леонтинцы отказались выполнить приказ. Очевидно, зачинщиками начавшихся у Леонтин столкновений были римляне - иначе зачем леонтинцам было просить военной помощи. В офицерах Ганнибала и их войске они видели своих защитников.

Тогда сиракузские правители объявили Марцеллу, что Леонтины вышли из повиновения, и направили против них карательный отряд. Но Марцелл опередил сиракузян. "Марцелл и Аппий, - рассказывает Ливий, - подступили к Леонтинам с двух сторон, и воины, которых вело желание отомстить за убитых товарищей, захватили город с первого же натиска. Гиппократ и Эпикид заперлись в крепости, а ночью тайно бежали в ближний городок Гербес. Сиракузяне восьмитысячным отрядом двинулись к Гербесу и дорогою повстречали гонца из Леонтин, который... рассказал им, что римляне истребили без разбора и воинов и взрослых граждан... а город разграбили... Отряд остановился и никакими силами его нельзя было заставить ни двинуться дальше, ни подождать более достоверных известий. Воины обвиняли римлян в вероломстве, а своих начальников - в

предательстве, и те, опасаясь прямого бунта, почли за лучшее расположиться на ночлег в соседней Мегаре.

Поутру войско снова двинулось к Гербесу. Гиппократ и Эпикид, понимая, что положение их безнадежно, отважились на крайнее средство - отдаться на милость сиракузских воинов, которые хорошо их знали и вдобавок были потрясены вестью о гибели товарищей. И вот, они вышли навстречу отряду. А в голове колонны по случайности оказались шестьсот критских лучников, прежде служивших у римлян и обязанных своей жизнью Ганнибалу: они попали в плен при Тразиментском озере, и Ганнибал их отпустил. Простирая вперед руки и размахивая ветвями оливы, как подобает молящим о помощи, Гиппократ и Эпикид кричали, чтобы те приняли их под защиту...

Критяне в один голос отвечали:

- Мужайтесь! Ваша судьба - это наша судьба.

Знаменосцы, а за ними и весь передовой отряд остановились. Начальники пришпорили коней и поскакали вперед. Они обрушились на критян с упреками... и приказали арестовать братьев... Критяне встретили приказ насмешками и угрозами, их поддержало все войско..."

Войско, посланное против вождей карфагенской партии, перешло на их сторону. Разгром Леонтин не запугал сиракузян, как надеялся Марцелл, а ожесточил их. Власть римской партии была свергнута, а вернувшиеся с войском в город Гиппократ и Эпикид были объявлены правителями Сиракуз. Ливий пишет, что "...римляне, не теряя времени, выступили из Леонтин к Сиракузам и разбили лагерь у храма Зевса Олимпийского...". Стараясь придать своему нападению вид законной акции, они действовали как бы от имени бежавших свергнутых правителей города. С другой стороны, Гиппократ и Эпикид были, так же, как и беглецы, законно избранными членами Совета, а по праву происхождения могли считаться гражданами Сиракуз. Они пользовались доверием и поддержкой большинства. Все понимали, что Сиракузы для Марцелла прежде всего опора Карфагена в Сицилии и, кроме этого, лакомый кусок. Недаром Ливий написал, что "...в этом городе римляне взяли столько добычи, сколько не нашли бы и в самом Карфагене, будь он тогда завоеван".

Алчный, сильный и жестокий враг подступил к городу, только что пережившему смуту и в силу этого лишенному большей части старого офицерского состава. До штурма оставалось пять дней. Город был хорошо укреплен, имел невиданную оборонительную технику, в нем были войска и множество готовых сражаться добровольцев. Но все это ничего не стоило само по себе, силы нужно было собрать, организовать,

расставить. И тогда, по-видимому, все взоры обратились к Архимеду.

Новые правители - Гиппократ и Эпикид - были опытными военачальниками, но не могли в совершенстве знать систему обороны города, длина стен которого превышала 18 км. И если формально обороной руководили они, то фактически вождем ее стал Архимед, а они являлись лишь исполнителями его советов.

Возможно, пять дней до штурма, а потом день приступа и бессонная ночь (отражение второй атаки) оказались самым напряженным временем в жизни ученого. Это было великим испытанием, которое Архимед выдержал с честью.

После отражения атаки римлян Сиракузы почувствовали себя в безопасности. Гиппократ с крупным отрядом вышел из города на соединение с карфагенским полководцем Гимильконом. По дороге он столкнулся с Марцеллом, потерпел поражение, но большая часть его отряда влилась в войско карфагенян. Римляне оставались под Сиракузами, но им не удалось блокировать город - продовольствие беспрепятственно поступало морем из Карфагена.

Не решаясь больше идти на приступ, римляне начали действовать хитростью. Выбрав ночь после праздника, когда потерявшие бдительность защитники Заснули, отборный отряд римлян бесшумно поднялся на стену, перебил стражу и открыл ворота Гексапилы, Тиха и Эвриал были захвачены. Римляне разграбили два крупнейших квартала города и перенесли лагерь внутрь Сиракуз. В руках у защитников остались лишь Ахрадина и Остров. Гиппократ и Гимилькон поспешили на помощь, но начавшаяся эпидемия чумы погубила войско и обоих вождей. Защитники города упали духом, а среди наемников нашлись предатели, открывшие римлянам ворота.

"Немало примеров гнусной злобы и гнусной алчности можно было бы припомнить, - пишет Ливий о разграблении города, - но самый знаменитый между, ними - убийство Архимеда. Среди дикого смятения, под крики и топот озверевших солдат, Архимед спокойно размышлял, рассматривая начерченные на песке фигуры, и какой-то грабитель заколол его мечом, даже не подозревая, кто это".

Заключение

Если окинуть взглядом разнообразную и плодотворную работу Архимеда, может показаться, что в своей деятельности ученый "разбрасывался", увлекаясь различными, не связанными между собой проблемами. Но несмотря на разнообразие задач, за которые брался Архимед, можно заметить между ними определенную связь. Например, занимаясь проблемами

равновесия, Архимед выполнил целую серию работ, связанных с применением открытых им закономерностей. Придя к понятию центра тяжести при разработке методов строительных расчетов, он построил геометрическую теорию нахождения центров тяжести фигур и дал строгую формулировку законов равновесия. Разработанную теорию он применил на практике, создав многоступенчатые механические передачи и "железные лапы". Но эту же теорию он применил и в геометрии, решив с помощью "мысленного взвешивания" задачу об определении площади сложных фигур.

Геометрическое сочинение Архимеда "О спиралях" (в котором, кстати, впервые вводится кинематическое описание кривой) связано с созданием водоподъемной "улитки" (гидравлика) и червячной передачи (механика).

Таким образом, главным в творчестве Архимеда было стремление максимально раздвинуть рамки задачи вширь, одновременно доведя ее решение до геометрической строгости.

В астрономии Архимед предстает перед нами и как наблюдатель (определение видимого поперечника Солнца), и как теоретик (приведение результатов измерений к центру Земли), и как вычислитель (расчет межпланетных расстояний), и как механик (создание небесного глобуса). Теоретические занятия законами отражения света, возможно, привели к изобретению и постройке гелиоконцентратора, причем сама идея расчленения вогнутого зеркала на множество плоских элементов связана с заменой кривой вписанными и описанными многоугольниками, часто применявшейся Архимедом в геометрических доказательствах.

Такое сочетание математического таланта с практическим мышлением и организаторскими способностями встречается не так уж часто. Архимед является в истории науки яркой фигурой исследователя, слившего воедино теорию и практику, и он несомненно служил образцом и примером для многих поколений ученых.

Интересной особенностью характера Архимеда было его пристрастие к большим масштабам.

Архимед не был замкнутым ученым. Он стремился сделать свои достижения общеизвестными. Его любовь к эффектным демонстрациям хорошо проявлялась в эпизоде с передвижением вытащенного на берег корабля "силой одного человека". Видимо, и шедевр античной механики - небесный глобус - не имел другого назначения, кроме демонстрационного. Среди научных работ Архимеда есть и популяризаторская - "Псаммит". Об этом говорит и сама постановка задачи, и то, что система записи крупных

чисел к этому времени уже была описана Архимедом в другой не дошедшей до нас книге.

Таким предстает перед нами Архимед - теоретик, исследователь, инженер, популяризатор науки.

Приложение. Исторические личности, упоминаемые в книге

Агафокл (361...289 до н.э.) - сиракузский военачальник, ставший в 317 г. правителем города.

Андронадор - сиракузский политик, опекун юного царя Сиракуз Гиеронима в 215...214 г. до н.э.; после его убийства - член правительства Сиракуз; убит в 214 г. во время проримского переворота.

Анфимий из Тралл - византийский ученый VI в.; занимался математикой и оптикой, был скульптором и архитектором; строитель Софийского собора в Константинополе.

Аппий Клавдий - римский полководец, правитель римских владений на Сицилии в начале 2-й Пунической войны. Участник осады Сиракуз 214...212 гг. до н.э.

Аполлоний Пергский - крупный ученый, математик, живший в Пергаме, младший современник Архимеда.

Апулей Люций - римский писатель II в., автор сатирического романа "Золотой осел". В одном из сочинений приводит содержание не дошедшей до нас "катоптрики" (оптики) Архимеда.

Аристарх Самосский (ок. 320...250 до н.э.) - греческий астроном, создатель гелиоцентрической системы мира; решил задачу об определении расстояний до Луны и Солнца.

Аристотель (384...322 до н.э.) - великий греческий философ и ученый, живший преимущественно в Афинах и основавший там школу (Ликей).

Архит Тарентский (428...365 до н.э.) - математик школы Пифагора, конструктор приборов для решения геометрических задач.

Бенедетти Джовани Батиста (1530...1590) - итальянский ученый; внес вклад в статику, основываясь на трудах Архимеда.

Ал-Бируни (973 - ок. 1050) - великий среднеазиатский ученый-энциклопедист, астроном, географ, математик; определил плотность многих веществ.

Бюффон Жорж Луи Леклер (1707...1788) - французский инженер и натуралист; в 1747 г. построил составное зеркало, зажигавшее дерево на большом расстоянии, для доказательства правдивости легенды о сжигающих зеркалах Архимеда.

Витрувий Марк Поллион - римский архитектор I в. до н.э.; в сочинении "Об архитектуре" несколько раз упоминает Архимеда, излагает легенду об определении Архимедом чистоты золота царской короны.

Галек Клавдий (ок. 131...200) - крупнейший римский врач, анатом, физиолог; упоминает о поджоге Архимедом кораблей с помощью зеркал.

Галилей Галилео (1564...1642) - великий итальянский физик и астроном; продолжил начатую Архимедом работу по созданию математической физики.

Ганнибал Барка (246...183 до н.э.) - карфагенский политик и полководец периода 2-й Пунической войны; одержал ряд побед над Римом, но в конце концов был побежден.

Гелон сын Гиерона - современник Архимеда, сын и соправитель Гиерона; умер раньше отца. Архимед посвятил Гелону сочинение "Псаммит" (об исчислении песчинок).

Гераклид Понтийский (ок. 390...315 до н.э.) - греческий философ, физик и астроном школы Аристотеля; предложил систему мира с обращением части планет вокруг Солнца, на основании которой Архимед нашел радиусы планетных орбит.

Герон Александрийский - греческий механик I в., привел в своей "Механике" отрывки из ранних работ Архимеда.

Гиерон II (ок. 305...215 до н.э.) - правитель Сиракуз с 270 по 215 г. до н.э., родственник и покровитель Архимеда.

Гиероним (230...214 до н.э.) - внук Гиерона II, вероятно, сын Гелона; с 215 по 214 г. правил Сиракузами под опекой Совета во главе с Андронадором; убит заговорщиками в Леонтинах в 214 г. до н.э.

Гимилькон - карфагенский полководец периода 2-й Пунической войны; высадился с войском в Сицилии в 214 г. до н.э.; погиб от чумы в 212 г. до н.э. под стенами Сиракуз.

Гиппократ - офицер армии Ганнибала, родившийся в Карфагене, потомок сиракузского изгнанника; с 215 г. до н.э. - посол Ганнибала в Сиракузах; в 214 г. до н.э. стал правителем Сиракуз. Ушел из осажденного города на помощь Гимилькону; после захвата части Сиракуз Марцеллом пришел на выручку городу, но погиб во время чумы в 212 г. до н.э.

Гиппарх (180...125 до н. э.) - великий греческий астроном; занимался теорией движения Солнца и Луны, составил звездный каталог, открыл явление прецессии (предварения равноденствия). Декарт Рене (1596...1650) французский философ и математик; в своей "Диоптрике" отрицал возможность реальной подоплеки легенды о жгущих зеркалах Архимеда. Демокрит (ок. 460...370 до н.э.) - греческий философ и математик; создатель атомистического учения. Дионисий I Старший (ок. 432...362 до н.э.) сиракузский политик и полководец; с 406 г. до н.э. - правитель Сиракуз.

Диодор Сицилийский - греческий историк I в. до н.э.;

упоминает об Архимеде как об изобретателе водоподъемного винта, сообщает, что ученый сделал много других изобретений.

Досифей - александрийский математик, современник Архимеда, которому тот направил ряд математических сочинений. Евклид (ок. 330...375) греческий математик, автор первого систематического изложения геометрии. Евдокс Книдский (408...355 до н.э.) - великий греческий математик, астроном, философ, географ. Зонара - византийский историк XII в. Упоминает о жгущих зеркалах Архимеда.

Ипполит - римский христианский писатель II в.; в своих религиозных сочинениях подробно излагает мнения различных философов, сохранив таким образом сведения о них; привел значения межпланетных расстояний, найденные Архимедом. Кардана Джеронимо (1501...1576) - итальянский инженер ; описал несколько конструкций водоподъемных винтов, разработанных по типу архимедовых. Клавдиан - римский поэт V в.; написал стихотворение, посвященное механическому небесному глобусу Архимеда.

Конон - александрийский математик, старший современник и учитель Архимеда; заведовал Александрийской библиотекой.

Ливий Тит (59 г. до н.э. - 17 г. н.э.) - римский писатель, автор "Римской истории", в которой описаны события в Сиракузах перед нападением римлян и обстоятельства осады города.

Лукиан из Самосаты (ок. 120...180) - греческий писатель-сатирик; упоминает о поджоге Архимедом римских кораблей.

Марцелл Марк - римский политик и полководец периода 2-й Пунической войны; в 214 г. до н.э., будучи консулом, захватил Леонтины и осадил Сиракузы, которые взял в 212 г. до н.э.

Папп Александрийский (III...IV вв.) - греческий математик, автор "Математической библиотеки", в которой касается и вопросов механики; описывает систему механических передач, вероятно, восходящую к Архимеду.

Пифагор Самосский - греческий философ и математик VI в. до н.э., основоположник математики как теоретической науки.

Полибий (202...122 до н.э.) - греческий политик, полководец и историк; в его "Всеобщей истории" содержится наиболее точное описание штурма Сиракуз римлянами.

Платон (427...348 до н.э.) - великий греческий философ, ученик Сократа, жил преимущественно в Афинах и основал там философскую школу (Академию).

Плутарх (50...120) - греческий писатель, автор серии биографий греческих и римских государственных деятелей; в биографии консула Марка Марцелла рассказывает об Архимеде.

Птолемей Клавдий (70...147) - крупнейший астроном и

географ античной эпохи, создатель геоцентрической системы мира.

Птолемей III Эврегет (284...221 до н.э.) - царь Египта с 246 г.; содействовал развитию науки и культуры, поддерживая крупнейшее научное учреждение античного мира - Александрийский Муссейон с его огромной библиотекой, основанный Птолемеем II Филадельфом (308...246 до н.э.).

Скопин Сиракузский - создатель солнечных часов в одном из цирков Рима, упоминается Витрувием.

Стевин Симон (1548...1620) - фламандский ученый и инженер, автор сочинения "Начала статики"; развил работы Архимеда в области статики и гидростатики.

Стратон Лампсакский (по прозвищу Физик) - греческий философ и ученый школы Аристотеля; руководил Ликеем с 288 г. до н.э., вероятный автор сочинения "Механические проблемы", в котором с точки зрения закона рычага рассматриваются различные механизмы и явления.

Фидий - отец Архимеда; упоминается Архимедом в качестве астронома, определившего отношения расстояний до Солнца и Луны.

Хайам Омар (1048...1131) - знаменитый среднеазиатский поэт и ученый; занимался определением удельного веса веществ, используя закон Архимеда.

Цеци - византийский историк XII в.; упоминает о поджоге Архимедом кораблей с помощью зеркал.

Цицерон Марк Туллий (106...43 до н.э.) - знаменитый римский оратор и политический деятель; преклонялся перед гением Архимеда; упоминает о посещении могилы ученого и о его механическом глобусе.

Эпикид - офицер армии Ганнибала; в 214 г. до н.э. вместе с братом Гиппократом стал правителем Сиракуз.

Эратосфен Киренский (256...194 до н.э.) - греческий математик, географ, астроном и поэт; заведовал Александрийской библиотекой, переписывался с Архимедом.